

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

## **Analýza pohybu kolejových vozidel**

## **Analysis of Rolling Stock Motion**

**Student:**

Ondřej Kalabza

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2019

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Ondřej Kalabza**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R003 Dopravní technika a technologie

Téma:

Analýza pohybu kolejových vozidel  
Analysis of Rolling Stock Motion

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je analyzovat možnosti popisu pohybu hnacího kolejového vozidla za základě záznamu jeho registračním rychloměrem. Práce je doplněna ukázkovou analýzou.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Teorie pohybu kolejových vozidel.
3. Analýza požadavků na registraci veličin záznamovými rychloměry a jejich realizace u různých typů rychloměrů.
4. Možnosti analýzy dynamiky pohybu hnacích kolejových vozidel a jimi vedených vlaků.
5. Praktická ukáзка analýzy záznamu pohybu.
6. Provozně technické zhodnocení.
7. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

ANTONICKÝ, Stanislav. *Mechanika vlakové dopravy*. Bratislava: Alfa, 1984.

Podklady provozovatelů dopravy.

Podklady výrobců hnacích vozidel a záznamových zařízení.

Předpis ČD V 8/I - Předpis pro provoz a obsluhu rychloměrů.

Předpis ČD V 8/II - Předpis pro údržbu rychloměrů a vyhodnocování jejich záznamů.

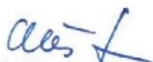
Předpis SŽDC D 17 - Předpis pro hlášení a šetření mimořádných událostí.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



---

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



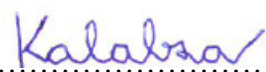
---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne: 20. května 2019

.....

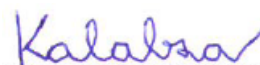
Podpis studenta

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo).
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 20. května 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Ondřej Kalabza

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dr. Šavrdy 4/3009, Ostrava – Bělský les

**Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi během tvorby této bakalářské práce poskytl.

## Anotace bakalářské práce

KALABZA, Ondřej. *Analýza pohybu kolejových vozidel: bakalářská práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2019, 58 s. Vedoucí práce: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Předložená bakalářská práce se zabývá analýzou záznamu pohybu kolejových vozidel. V úvodní části jsou shrnuty základní pojmy a vztahy z oblasti teorie pohybu kolejových vozidel. Druhá část je věnována popisu nejpoužívanějších registračních rychloměrů v České republice a způsobům vyhodnocování záznamů jízdy. V následující části jsou popsány možnosti zpřesnění analýzy a postup stanovení dynamických charakteristik jízdy. V rámci praktické části je řešena ukázková analýza pohybu vozidla během rozjezdu a zpomalování vozidla. Závěry plynoucí z této analýzy jsou shrnuty v provozně technickém vyhodnocení.

**Klíčová slova:** teorie pohybu, registrační rychloměr, analýza pohybu, jízda, záznam, kolejové vozidlo

## Annotation of bachelor thesis

KALABZA, Ondřej. *Analysis of Rolling Stock Motion: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2019, 58 p. Thesis head: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

The presented bachelor thesis focuses on the analysis of rolling stock motion. In the introduction part are summarized the basic concepts and relations of theory of rolling stock motion. The second part is devoted to description of the most used recording speedometers in the Czech Republic and methods for evaluating train running. The following section describes the possibilities how to make the analysis more accurately and the procedure of determination of dynamic driving characteristics. In the practical part is solved the analysis of vehicle movement during the start and deceleration. The conclusions of this analysis are summarized in the operational and technical evaluation.

**Keywords:** theory of motion, recording speedometer, analysis of motion, running, record, railway vehicle

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Teorie pohybu kolejových vozidel.....</b>	<b>13</b>
2.1	Úvod teorie pohybu kolejových vozidel .....	13
2.2	Tažná síla .....	14
2.3	Odpory proti pohybu .....	15
2.3.1	Traťové odpory .....	16
2.3.2	Vozidlové odpory .....	18
2.3.3	Odpor zrychlení.....	19
2.4	Rovnice pohybu kolejových vozidel.....	19
2.5	Brzdění kolejových vozidel .....	20
2.5.1	Rozdělení brzdových zařízení kolejových vozidel.....	20
2.5.2	Popis průběhu brzdění.....	21
<b>3</b>	<b>Analýza požadavků na registraci veličin záznamovými rychloměry a jejich realizace u různých typů rychloměrů .....</b>	<b>23</b>
3.1	Základní požadavky na záznam jízdy .....	23
3.2	Historická řešení registrace pohybu kolejových vozidel .....	24
3.3	Současná řešení registrace pohybu kolejových vozidel .....	26
3.3.1	Mechanické registrační rychloměry .....	26
3.3.2	Elektronické registrační rychloměry .....	27
3.4	Rozbor a vyhodnocení rychloměrného proužku .....	29
3.4.1	Rozbor záznamu pro běžnou potřebu.....	29
3.4.2	Podrobná analýza záznamu rychloměrného proužku .....	30
<b>4</b>	<b>Možnosti analýzy dynamiky pohybu hnacích kolejových vozidel a jimi vedených vlaků.....</b>	<b>31</b>
4.1	Zpracování rychloměrného proužku a určení souřadnic bodů záznamu .....	31
4.2	Stanovení parametrů analyzovaného bodu záznamu .....	34
4.3	Analýza dynamických charakteristik pohybu kolejových vozidel .....	36
4.3.1	Analýza rychlosti pohybu.....	37
4.3.2	Analýza zrychlení pohybu.....	37
4.3.3	Analýza teoretických brzdňných drah.....	39
<b>5</b>	<b>Praktická ukázka analýzy záznamu pohybu .....</b>	<b>40</b>



5.1	Popis rychloměrného proužku .....	40
5.2	Rektifikace obrazu záznamu pohybu a stanovení měřítek.....	42
5.3	Adjustace obrazu záznamu .....	43
5.3.1	Stanovení vztažné polohy pro určení ujeté dráhy a poloh posuzovaných bodů	43
5.3.2	Vzájemný posun záznamu rychlosti a minutového záznamu.....	44
5.3.3	Posunutí polohy nulové rychlosti.....	44
5.3.4	Posunutí mezi minutového záznamu.....	46
5.4	Analýza parametrů pohybu vozidla v bodech záznamu .....	46
<b>6</b>	<b>Provozně technické zhodnocení .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>54</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>56</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam grafů.....</b>	<b>58</b>

## Seznam použitých značek a symbolů

$a$	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení vozidla
$a_B$	$[m \cdot s^{-2}]$	brzdné zpomalení
$B$	$[N]$	brzdná síla
$B_a$	$[N]$	brzdná síla na mezi adheze
$F_a$	$[N]$	tažná síla na mezi adheze
$F_o$	$[N]$	tažná síla na obvodu kol
$F_t$	$[N]$	tažná síla
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
$G_a$	$[N]$	adhezni tíha
$G_D$	$[N]$	tíha tažených vozidel
$G_L$	$[N]$	tíha hnacího vozidla
$G_V$	$[N]$	tíha vozidla
$k_{sj}$	$[1]$	konstanta popisující směr jízdy vzhledem k počátku trati
$l$	$[m]$	průmět délky sklonového úseku do vodorovné roviny
$l'$	$[m]$	délka sklonového úseku
$l_B$	$[m]$	brzdná dráha
$L_i$	$[km]$	poloha vozidla v posuzovaném bodě záznamu
$L_{i+1}$	$[km]$	poloha vozidla v následujícím bodě záznamu
$L_{i-1}$	$[km]$	poloha vozidla v předcházejícím bodě záznamu
$l_{obl}$	$[m]$	délka oblouku
$l_{PB}$	$[m]$	brzdná dráha ujetá během přípravy brzdy
$l_{tun}$	$[m]$	délka tunelu
$l_{UB}$	$[m]$	brzdná dráha ujetá během účinného brzdění
$L_0$	$[km]$	skutečná kilometrická poloha vztažného bodu
$L_1$	$[km]$	poloha vozidla v počátečním bodu záznamu
$L_2$	$[km]$	poloha vozidla v koncovém bodu záznamu
$m_{sp}$	$[m \cdot px^{-1}]$	měřítka dráhového posunu
$m_{tmp}$	$[min \cdot px^{-1}]$	měřítka minutového záznamu
$m_V$	$[kg]$	hmotnost vozidla
$m_{VL}$	$[kg]$	celková hmotnost vlaku
$m_{Vp}$	$[km \cdot h^{-1} \cdot px^{-1}]$	měřítka rychlostního záznamu
$m_{xp}$	$[mm \cdot px^{-1}]$	měřítka pořadnice ve směru osy x
$m_{yp}$	$[mm \cdot px^{-1}]$	měřítka pořadnice ve směru osy y
$n_r$	$[1]$	počet mezer mezi obrazy vpichů na obraze záznamu
$O$	$[N]$	celkový odpor proti pohybu
$o$	$[1]$	součinitel odporu vztažený na jednotku tíhy vozidla
$o_D$	$[1]$	součinitel vozidlového odporu pro tažená vozidla
$O_f$	$[N]$	odpor valivého tření kola po kolejnici
$O_l$	$[N]$	odpor čepového tření v ložiscích
$o_L$	$[1]$	součinitel vozidlového odporu pro hnací vozidlo
$O_{skl}$	$[N]$	odpor sklonu tratě
$O_T$	$[N]$	odpor traťový
$o_T$	$[1]$	součinitel traťového odporu
$O_V$	$[N]$	odpor vozidlový
$o_V$	$[1]$	součinitel vozidlového odporu
$O_{vz}$	$[N]$	odpor prostředí (ovzduší)
$O_Z$	$[N]$	odpor zrychlení
$o_Z$	$[1]$	součinitel odporu zrychlení
$p$	$[m]$	převýšení tratě

R	[m]	poloměr oblouku
s	[‰]	sklon úseku
s <sub>obl</sub>	[‰]	přídavný sklon oblouku
s <sub>r</sub>	[‰]	redukovaný sklon
s <sub>tun</sub>	[‰]	přídavný sklon tunelu
t	[s]	čas
T <sub>i</sub>	[hod; min; s]	čas rychloměru v posuzovaném bodě záznamu
t <sub>n</sub>	[s]	doba náběhu brzdového zařízení
t <sub>PB</sub>	[s]	doba přípravy brzdy
T <sub>R</sub>	[hod; min; s]	čas rychloměru nejbližší nižší mezní hodnoty minutového záznamu
t <sub>r</sub>	[s]	reakční doba strojvedoucího
t <sub>UB</sub>	[s]	doba účinného brzdění
V	[km · h <sup>-1</sup> ]	rychlost vozidla
v	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost vozidla
V <sub>i</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	rychlost vozidla v posuzovaném bodě záznamu
V <sub>i+1</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	rychlost vozidla v následujícím bodě záznamu
V <sub>i-1</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	rychlost vozidla v předcházejícím bodě záznamu
V <sub>max r</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	rozsah záznamu rychlost zjištěný z potisku nosiče záznamu
v <sub>0</sub>	[m · s <sup>-1</sup> ]	počáteční rychlost
v <sub>1</sub>	[m · s <sup>-1</sup> ]	konečná rychlost
X <sub>BMi</sub>	[px]	vodorovná souřadnice bodu B <sub>Mi</sub> v minutovém záznamu
X <sub>BVi</sub>	[px]	vodorovná souřadnice bodu B <sub>Vi</sub> v rychlostním záznamu
x <sub>max</sub>	[mm]	maximální rozsah vodorovné osy posunu
x <sub>min</sub>	[mm]	minimální rozsah vodorovné osy posunu
x <sub>str</sub>	[px]	střední vzdálenost obrysových hran po sobě jdoucích vpichů
X <sub>TR0</sub>	[px]	poloha nejbližší mezní hodnoty 0. minuty minutového záznamu
X <sub>TR10</sub>	[px]	poloha nejbližší mezní hodnoty 10. minuty minutového záznamu
X <sub>0</sub>	[px]	hodnota vodorovné souřadnice vztažného bodu
Y <sub>BMi</sub>	[px]	svislá souřadnice bodu B <sub>Mi</sub> v minutovém záznamu
Y <sub>BVi</sub>	[px]	svislá souřadnice bodu B <sub>Vi</sub> v rychlostním záznamu
Y <sub>M0</sub>	[px]	svislá souřadnice linky 0. minuty záznamu času
Y <sub>M10</sub>	[px]	svislá souřadnice linky 10. minuty záznamu času
y <sub>Mmax</sub>	[min]	maximální rozsah pro svislou osu obrazu minutového záznamu
y <sub>Mmin</sub>	[min]	minimální rozsah pro svislou osu obrazu minutového záznamu
y <sub>r</sub>	[mm]	deklarovaná šířka pole pro záznam rychlosti
Y <sub>Vmax</sub>	[px]	svislá souřadnice linky maximální rychlosti záznamu rychlosti
y <sub>Vmax</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	maximální rozsah pro svislou osu obrazu rychlostního záznamu
Y <sub>Vmin</sub>	[px]	svislá souřadnice linky nulové rychlosti záznamu rychlosti
y <sub>Vmin</sub>	[km · h <sup>-1</sup> ]	minimální rozsah pro svislou osu obrazu rychlostního záznamu
Y <sub>V0</sub>	[px]	svislá souřadnice nulové rychlosti na obrazu záznamu
α	[°]	úhel stoupání
Δl	[m]	ujetá dráha mezi počátečním a koncovým bodem výpočtu
Δs <sub>DP</sub>	[m]	deklarovaná dráha mezi vpichy
Δt	[s]	časový interval
Δt <sub>m</sub>	[min]	rozsah minutového záznamu
Δv	[m · s <sup>-1</sup> ]	změna rychlosti v daném časovém intervalu
Δx <sub>r</sub>	[mm]	deklarovaná vzdálenost vpichů posunovacího válce rychloměru
Δx <sub>VM</sub>	[px]	posunutí rychlostního a minutového záznamu
ε	[1]	součinitel využití adheze
μ <sub>a</sub>	[1]	součinitel adheze
ρ	[1]	součinitel vlivu rotujících hmot

# 1 Úvod

Technologický pokrok přinesl do železniční dopravy mnoho změn a zvyšující se rychlost železničních vozidel přinesla nové nároky na bezpečnost. Mezi zařízení zvyšující bezpečnost železniční dopravy patří registrační rychloměry, které umožňují strojvedoucímu sledovat okamžitou rychlost vozidla, ale také zaznamenávají průběh jízdy, díky kterému lze zpětně realizovat analýzu pohybu. Analýza pohybu kolejových vozidel a problematika vyšetřování mimořádných událostí na železnici je pro mě natolik zajímavá, že jsem se rozhodl si ji zvolit jako téma bakalářské práce.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat možnosti popisu pohybu hnacího kolejového vozidla na základě záznamu z jeho registračního rychloměru. Možnosti analýzy jsou rozdílné podle druhu registračního rychloměru, na kterém je záznam jízdy pořízen. Práce je věnována převážně metodice analýzy ze záznamu z mechanického registračního rychloměru, protože u elektronických zařízení je zpracování dat méně náročné. Postup výpočtu dynamických charakteristik pohybu je u obou typů rychloměrů stejný.

Bakalářská práce je rozdělena na několik částí. V první části jsou popsány základní poznatky z teorie pohybu, které vedou k sestavení základní rovnice pohybu kolejových vozidel. Ve druhé části jsou uvedeny příklady historických i současných registračních rychloměrů a legislativní požadavky, které se na tato zařízení vztahují. Následující část je věnována metodice zpřesnění analýzy pohybu ze záznamu z mechanických registračních rychloměrů. Dále jsou zde uvedeny teoretické znalosti pro analýzu dynamických charakteristik pohybu vozidla. Jednotlivé postupy jsou představeny v ukázkové analýze pohybu v praktické části této bakalářské práce.

## 2 Teorie pohybu kolejových vozidel

V této kapitole jsou vymezeny základní pojmy, vztahy a zákonitosti, které jsou pro lepší orientaci v problematice teorie pohybu kolejových vozidel nezbytné.

### 2.1 Úvod teorie pohybu kolejových vozidel

Skutečný pohyb kolejových vozidel ovlivňuje velké množství faktorů, které bývá velmi náročné přesně popsat a matematicky vyjádřit. V teorii pohybu kolejových vozidel je pro výpočty nutné pohyb zjednodušit pomocí zjednodušujících předpokladů.

Po zjednodušení pohlížíme na jednotlivá vozidla a jejich části tak, že nevykonávají žádný vzájemný pohyb a nedochází mezi nimi k podélným kmitům. Vlak tvoří tuhé homogenní těleso, jehož hmotnost je soustředěná do hmotného středu. Rozměrové parametry vozidel, včetně délky, je možné zanedbat. Vlak tedy můžeme považovat za pohybující se hmotný bod. Dále předpokládáme, že síly působící na vozidla jsou statické, změna pohybu se děje okamžitě při změně působících sil. Uvažováním těchto zjednodušujících předpokladů působí na kolejová vozidla pouze síly tíhové a síly podélné, což jsou síly působící ve směru nebo proti směru pohybu. Podélné síly lze rozdělit podle směru působení a způsobu vzniku[1]:

- síly tažné – síly, které působí ve směru jízdy vozidla. U hnacích vozidel jsou důsledkem kroutícího momentu trakčního zařízení a u tažených vozidel vznikají silovým působením hnacího vozidla.
- síly odporové – zkráceně odpory, působí zpravidla proti směru jízdy vozidla a jsou dány součtem vnějších sil, jejichž příčinou je samotné vozidlo nebo okolní prostředí.
- síly brzdné – síly působící proti směru jízdy vozidla, vznikají působením brzdových zařízení.

Rovnováhu podélných sil je možné zapsat do rovnice:

$$F_t - B - O = 0 \quad [\text{N}] \quad (2.01)$$

kde:

$F_t$  [N] tažná síla

$B$  [N] brzdná síla

$O$  [N] odporová síla

## 2.2 Tažná síla

Pohyb kolejových vozidel vyvolávají tažné síly vznikající prací hnacích zařízení. Tato zařízení přeměňují vstupní energii v mechanickou práci. Vstupní energií je u elektrických hnacích vozidel energie elektrická, která je přiváděná z trolejového vedení, nebo z přírodní kolejnice. U vozidel se spalovacím motorem je to energie chemická ve formě tuhého nebo kapalného paliva.[2]

Tažnou sílu lze definovat několika způsoby podle působišť. *Indikovaná tažná síla* je vyvolána prací primárního zdroje mechanické energie. Pomocí zařízení určených k přenosu výkonu se tato síla projeví v místě styku kolo-kolejnice, kde je zmenšená o ztráty na zdroji a ztráty přenosem výkonu. Tuto sílu označujeme jako *tažnou sílu na obvodu kol*. Pohyb u vozidel tažených je realizován pomocí *tažné síly na spráhle*, která je navíc zmenšená o vozidlový odpor hnacího vozidla.[1]

Z principu funkce hnacích vozidel vychází, že tažná síla nepůsobí ve stejném časovém okamžiku jako síla brzdná. V provozu tažná síla slouží k překonávání součtu odporů působících proti pohybu vlaku. Vyvíjením tažné síly dochází k urychlování vlaku, případně k jízdě konstantní rychlostí.[1]

Z důvodu existence adheze je tažná síla na obvodu kol omezena. Maximální možnou sílu, kterou lze vyvinout označujeme jako *tažnou sílu na mezi adheze*. Velikost této síly závisí na adhezních součinitelích a adhezní hmotnosti hnacího vozidla, což je část celkové hmotnosti vozidla, kterou přenášejí hnací dvojkolí. Hodnota součinitele adheze není konstantní, jeho velikost je závislá na rychlosti vozidla a kvalitě povrchu dotykových ploch. Ke stanovení součinitele adheze se využívají experimentálně stanovené vztahy. Součinitel využití adheze představuje vliv konstrukce na rozložení hmotnosti na jednotlivá dvojkolí a kola hnacího vozidla. Tažná síla na mezi adheze je vyjádřena vztahem[1]:

$$F_a = \mu_a \cdot G_a \cdot \varepsilon \quad [\text{N}] \quad (2.02)$$

kde:

$\mu_a$  [1] součinitel adheze

$G_a$  [N] adhezní tíha

$\varepsilon$  [1] součinitel využití adheze

V provozu platí podmínka dodržení klidu dotykových ploch. Při nedodržení této podmínky dochází k tření mezi dotykovými plochami a k následnému prokluzu. Podmínka je dána vztahem[1]:

$$F_o \leq F_a \quad [N] \quad (2.03)$$

kde:

$$F_o \quad [N] \quad \text{tažná síla na obvodu kol}$$

### 2.3 Odpory proti pohybu

Pro uvedení vozidla do pohybu musí tažná síla překonat všechny odporové síly, které působí proti směru jízdy. Odpory dělíme do následujících dvou skupin[1]:

- odpory aktivní – ztráty, které vznikají mezi primárním zdrojem energie a působištěm tažné síly. Jejich velikost je dána konstrukčním řešením vozidla,
- odpory pasivní – označovány také jako odpory jízdní, představují vnější síly působící na vozidlo konající pohyb. Dále je dělíme na odpory vozidlové a traťové.

Celkový odpor se skládá z několika složek odporových sil. Patří sem odpor traťový, odpor vozidlový a odpor ze zrychlení. Celkový odpor proti pohybu vozidla vypočítáme součtem těchto dílčích složek:

$$O = O_T + O_V + O_Z \quad [N] \quad (2.04)$$

kde:

$$O_T \quad [N] \quad \text{odpor traťový}$$

$$O_V \quad [N] \quad \text{odpor vozidlový}$$

$$O_Z \quad [N] \quad \text{odpor zrychlení}$$

Obecný vztah pro výpočet dílčích složek celkového odporu[1]:

$$O = G_V \cdot o \quad [N] \quad (2.05)$$

kde:

$$G_V \quad [N] \quad \text{tíha vozidla}$$

$$o \quad [1] \quad \text{součinitel odporu vztažený na jednotku tíhy vozidla}$$

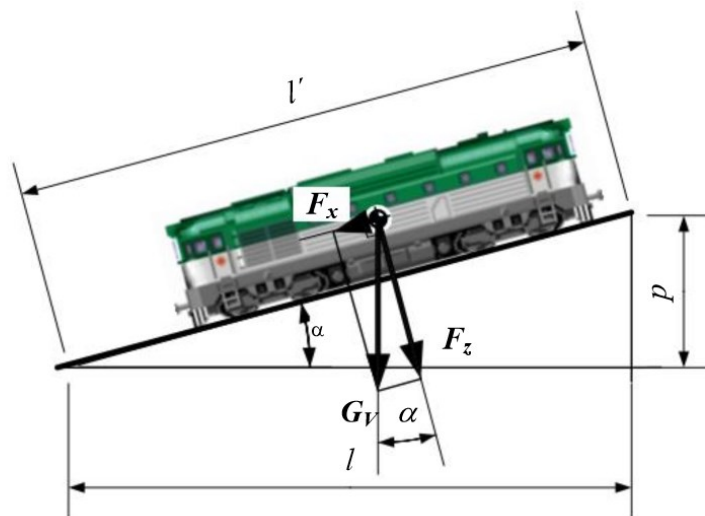
### 2.3.1 Traťové odpory

Traťové odpory představují síly působící zpravidla proti směru pohybu vlaku. Tyto síly vznikají v důsledku stavebního uspořádání tratě. V určitých případech mohou nabývat i záporných hodnot a působit ve směru jízdy vlaku (jízda po spádu). Mezi traťové odpory zahrnujeme odpor sklonu tratě, odpor oblouku a odpor tunelu.[1]

#### Odpor sklonu tratě

Sklon tratě je nejčastěji definován jako přírůstek nebo úbytek nivelety na trati o délce 1000 metrů. Hodnoty sklonu se pro potřeby kolejové dopravy udávají v promilích. Do stoupání je hodnota sklonu kladná a při klesání záporná.[1]

Sklon tratě se projektuje co nejmenší s ohledem na předpokládaný provoz tak, aby byl zajištěn plynulý rozjezd a bezpečné zastavování kolejových vozidel. Odpor způsobený stoupáním je nejvýznamnější složkou traťového odporu a na železniční trati by neměl přesáhnout hodnotu 40‰.[3]



Obrázek 1: Síly působící na vozidlo při pohybu na sklonu [4]

Na Obrázku 1 je zobrazen rozklad tíhové síly vozidla na složku rovnoběžnou  $F_x$  a kolmou  $F_z$  k délce sklonového úseku  $l'$ . Sklon trati lze tedy vyjádřit takto:

$$\frac{p}{l} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{1000} \rightarrow s = \operatorname{tg} \alpha \cdot 10^3 \quad [\text{‰}] \quad (2.06)$$

kde:

$p$  [m] převýšení tratě



$l$  [m] průmět délky sklonového úseku do vodorovné roviny

$\alpha$  [°] úhel stoupání

$s$  [‰] sklon úseku

Pro malé úhly  $\alpha$  můžeme uvažovat, že platí  $\sin \alpha \cong \tan \alpha$ . Výsledný vztah pro výpočet odporu sklonu tratě lze vyjádřit takto:

$$O_{skl} = G_V \cdot \sin \alpha = m_V \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (2.07)$$

kde:

$m_V$  [kg] hmotnost vozidla

$g$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ] tíhové zrychlení

### Odpor oblouku

Na vozidlo projíždějící obloukem působí vnější síly, které vozidlo vychylují z přímého směru, nejedná se tak o pohyb přímočarý, ale o pohyb obecný. Popis tohoto pohybu je náročný a je složité jej matematicky vyjádřit, proto se k výpočtu využívá empirických vztahů. Tyto vztahy vyjadřují vliv oblouku pomocí tzv. přídavného sklonu, jehož hodnota je určena následujícími vztahy.[4]

Pro hlavní tratě s rozchodem 1 435 mm:

$$s_{obl} = \frac{600}{R} \quad [\text{‰}] \quad (2.08)$$

Pro vysokorychlostní tratě:

$$s_{obl} = \frac{800}{R} \quad [\text{‰}] \quad (2.09)$$

kde:

$R$  [m] poloměr oblouku

Vliv navazujících protisměrně orientovaných oblouků se zohledňuje vynásobením vypočítaného přídavného sklonu oblouku hodnotou 1,5.[1]

### Odpor tunelu

Při průjezdu vozidla tunelem dochází k nárůstu odporových sil způsobených vnějším prostředím. Vzhledem k omezenému prostoru v tunelu dochází k vytlačování vzduchu

a k jeho víření kolem vlaku. Pro železniční tratě je přídatný sklon jízdy v tunelu stanoven v závislosti na rozměrech profilu tunelu.[4]

- Jednokolejný tunel:  $s_{tun} = 2$  [‰]
- Dvoukolejný tunel:  $s_{tun} = 1$  [‰]

### Redukce sklonu trati

V případě, že vlak projíždí obloukem nebo tunelem je nutné jednotlivé složky traťového odporu pro trakční výpočty upravit – zredukovat, tj. zahrnutí přídatného sklonu oblouku a přídatného sklonu tunelu ke skutečnému sklonu tratě. Takto upravený sklon lze použít pro výpočet celkového traťového odporu. Redukovaný sklon trati se vypočítá podle následujícího vztahu[1]:

$$s_r = \frac{s \cdot l' + \sum s_{obl_k} \cdot l_{obl_k} + \sum s_{tun_n} \cdot l_{tun_n}}{l'} \quad [\text{‰}] \quad (2.10)$$

kde:

- $s$  [‰] sklon sklonového úseku
- $l'$  [m] délka sklonového úseku
- $s_{obl_k}$  [‰] přídatný sklon k-tého oblouku
- $l_{obl_k}$  [m] délka k-tého oblouku
- $s_{tun_n}$  [‰] přídatný sklon n-tého tunelu
- $l_{tun_n}$  [m] délka n-tého tunelu

### 2.3.2 Vozidlové odpory

Vozidlové odpory vznikají při pohybu kolejových vozidel na trati. Hodnoty těchto odporů souvisí s konstrukčním provedením vozidla, rozměry vozidla a rychlostí vozidla. Vliv konstrukčních aspektů na hodnoty odporu je proměnlivý v závislosti na konkrétních podmínkách jízdy, proto se stanovení hodnot vozidlových odporů provádí v závislosti na okamžité rychlosti, která má největší vliv na výslednou hodnotu vozidlového odporu. Vznikají tři hlavní složky vozidlového odporu[4]:

$$O_V = O_f + O_l + O_{vz} \quad [\text{N}] \quad (2.11)$$

kde:

$O_f$  [N] odpor valivého tření kola po kolejnici

$O_l$  [N] odpor čepového tření v ložiscích

$O_{vz}$  [N] odpor prostředí (ovzduší)

Pro praktický výpočet vozidlového odporu je závislost jednotlivých složek na okamžité rychlosti vyjádřena polynomem druhého stupně. Pro součinitel vozidlového odporu platí vztah[4]:

$$o_v = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad [1] \quad (2.12)$$

kde:

$a, b, c$  [1] koeficienty polynomu

$V$  [km · h<sup>-1</sup>] okamžitá rychlost vozidla

### 2.3.3 Odpor zrychlení

Poslední skupinou odporů, které ovlivňují pohyb kolejových vozidel jsou odpory ze zrychlení. Odpor zrychlení vychází z definice 2. Newtonova pohybového zákona. Určité části vozidla konají také rotační pohyb, proto je nutné při výpočtech zahrnout i jejich vliv. Celkový odpor zrychlení se tak skládá z odporu zrychlení posuvných hmot a z odporu zrychlení rotujících hmot, který je popsán součinitelem rotujících hmot. Celkový odpor zrychlení se stanoví podle vztahu[4]:

$$O_Z = G_V \cdot o_Z = G_V \cdot \frac{a}{g} \cdot (1 + \rho) \quad [N] \quad (2.13)$$

kde:

$o_Z$  [1] součinitel odporu zrychlení

$a$  [m · s<sup>-2</sup>] zrychlení vozidla

$\rho$  [1] součinitel vlivu rotujících hmot

## 2.4 Rovnice pohybu kolejových vozidel

Pohybová rovnice kolejových vozidel je odvozena z rovnice pro rovnováhu podélných sil (2.01), ve které můžeme dále rozdělit vozidlový odpor na část pro hnací a tažená vozidla.

Poté vyjádříme jednotlivé odpory podle vztahu pro výpočet dílčích složek celkového odporu (2.05). Poslední úpravou je převedení odporu zrychlení na pravou stranu rovnice tak, aby zápis odpovídal zápisu 2. Newtonova pohybového zákona. Takto zapsaný vztah je známý jako základní rovnice pohybu kolejových vozidel.[1]

$$F_o - O_V - O_T - O_Z = 0$$

$$F_o - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T - (G_L + G_D) \cdot o_Z = 0$$

$$F_o - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = (G_L + G_D) \cdot \frac{(1+\rho)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2.14)$$

kde:

$G_L$	[N]	tíha hnacího vozidla
$G_D$	[N]	tíha tažených vozidel
$o_L$	[1]	součinitel vozidlového odporu pro hnací vozidlo
$o_D$	[1]	součinitel vozidlového odporu pro tažená vozidla
$o_T$	[1]	součinitel traťového odporu
$v$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost
$t$	[s]	čas

## 2.5 Brzdění kolejových vozidel

Brzdy kolejových vozidel jsou zařízení, u kterých dochází k přeměně kinetické energie na teplo a v případě rekuperace na elektrickou energii. Vyvíjení brzdné síly má smysl při udržování konstantní rychlosti, jízdě po spádu, snižování rychlosti vozidla nebo k jeho úplnému zastavení.[4]

### 2.5.1 Rozdělení brzdových zařízení kolejových vozidel

Brzdová zařízení na vozidlech se dělí podle způsobu přeměny kinetické energie na brzdy absorpční a brzdy transmisní. Absorpční brzdy přeměňují kinetickou energii pomocí třecí dvojice na teplo, které se odvádí do ovzduší. Brzdy transmisní umožňují tuto energii dále využívat, protože ji přeměňují na jiný druh energie. Jak brzdy absorpční, tak i brzdy

transmisní řadíme mezi adhezivní brzdné systémy, z čehož vyplývá omezení brzdné síly závislé na tíze vozidla – brzdná síla na mezi adheze[1]:

$$B_A = G_a \cdot \mu_a \quad [\text{N}] \quad (2.15)$$

kde:

$G_a$  [N] adhezivní tíha připadající na brzděné dvojkolí

Pro vysoké rychlosti se obvykle využívají adhezivní brzdy současně s brzdami neadhezivními, u kterých je velikost brzdné síly nezávislá na tíze vozidla. Tyto brzdy pracují na elektromagnetickém principu, který je nejčastěji realizován pomocí kolejnicové brzdy.[4]

### 2.5.2 Popis průběhu brzdění

Pro výpočty brzdných parametrů kolejových vozidel lze linearizovat průběh velikosti brzdné síly, díky čemuž lze dále uvažovat skokovou změnu brzdné síly. Uvažováním této skokové změny brzdné síly lze brzdění kolejových vozidel rozdělit na dvě části. Pohyb s konstantní rychlostí a pohyb zpomalený s konstantním brzdným zpomalením.

Prvním parametrem popisujícím průběh brzdění je brzdná doba, která je dána součtem doby přípravy brzdy a dobou jejího účinného brzdění. Příprava brzdy zahrnuje reakční dobu strojvedoucího a ekvivalentní dobu náběhu brzdy. Doba účinného brzdění s konstantním zpomalením  $a_B$  je vyjádřena základním vzorcem pro rovnoměrně zpomalený pohyb mezi nenulovými rychlostmi. Brzdnou dobu vypočítáme podle vztahu:

$$t_B = t_{PB} + t_{UB} = t_r + \frac{t_n}{2} + \frac{v_0 - v_1}{a_B} \quad [\text{s}] \quad (2.16)$$

kde:

$t_{PB}$	[s]	doba přípravy brzdy
$t_{UB}$	[s]	doba účinného brzdění
$t_r$	[s]	reakční doba strojvedoucího
$t_n$	[s]	doba náběhu brzdového zařízení
$v_0$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	počáteční rychlost
$v_1$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	konečná rychlost
$a_B$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	brzdné zpomalení

Dalším parametrem pro popis průběhu brzdění je brzdná dráha, která je rozhodující pro bezpečné zastavení vozidla. Při popisu brzdění je nutné rozlišovat pojmy zábrzdá vzdálenost, brzdá dráha a zábrzdá dráha[5]:

**Zábrzdá vzdálenost** – minimální vzdálenost mezi návěstidly, na kterou musí vozidlo za všech okolností zastavit. Zábrzdé vzdálenosti jsou předepsány podle dovolené traťové rychlosti.

**Brzdá dráha** – vzdálenost, kterou vozidlo urazí při brzdění mezi dvěma nenulovými rychlostmi.

**Zábrzdá dráha** – vzdálenost, kterou vozidlo urazí od začátku snižování rychlosti až do okamžiku úplného zastavení vozidla.

Stejně jako u výpočtu brzdé doby, tak i pro výpočet brzdé dráhy je možné uvažovat skokovou změnu brzdé síly. Vztah pro výpočet brzdé dráhy je následující:

$$l_B = l_{PB} + l_{UB}$$

$$l_B = v_0 \cdot \left( t_r + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 - v_1^2}{a_B} \quad [\text{m}] \quad (2.17)$$

Pokud brzdové zařízení vyvíjí maximální brzdnou sílu, brzdá dráha je minimální. Při výpočtu minimální brzdé dráhy vycházíme z rovnice pohybu kolejových vozidel a zákona zachování energie.[1]

$$l_{UBmin} = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_{VL} \cdot (1 + \rho) \cdot (v_0^2 - v_1^2)}{B + O_T + O_V + O_Z} \quad [\text{m}] \quad (2.18)$$

kde:

$m_{VL}$  [kg] celková hmotnost vlaku

### 3 Analýza požadavků na registraci veličin záznamovými rychloměry a jejich realizace u různých typů rychloměrů

V této kapitole jsou vymezeny legislativní požadavky na registrační zařízení drážních vozidel, jejichž záznamem jsou získány vstupní data pro analýzu pohybu těchto vozidel. Dále jsou zde uvedeny příklady starších registračních zařízení a dnes nejpoužívanější typy registračních zařízení. Také jsou zde sepsány parametry, které jednotlivé typy zařízení zaznamenávají, případně zobrazují.

#### 3.1 Základní požadavky na záznam jízdy

Grafický záznam rychlosti vozidla je vytvářen registračním rychloměrem, označovaným taky jako tachograf. Jedná se o záznamové zařízení, které registruje předepsané veličiny a zároveň zobrazuje okamžitou rychlost a počet ujetých kilometrů, což umožňuje obsluze vozidla přizpůsobit jízdu aktuálním podmínkám.

Dle požadavků vyplývajících z legislativy ČR [6] musí být každé hnací drážní vozidlo a speciální hnací vozidlo s rychlostí vyšší než  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  určené pro provoz na celostátních a regionálních tratích vybaveno registračním zařízením. Pro rychlosti vyšší než  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  je nutné vozidlo vybavit přesným kalibrovaným digitálním rychloměrem s korekcí průměru kol. Registrační rychloměr musí zaznamenávat rychlost v závislosti na dráze, dobu stání a jízdy, čas a případně další doplňkové veličiny, které daný typ zařízení umožňuje registrovat.

Drážní vozidla na dráhách speciálních pro přepravu cestujících jsou vybavena registračním rychloměrem umístěným na stanovišti osoby řídící vozidlo. Rychloměr musí být umístěn takovým způsobem, aby v případě nehody nemohlo dojít k poškození záznamového zařízení. Toto zařízení zobrazuje okamžitou rychlost, čas a počet ujetých kilometrů. Data z registračního rychloměru jsou základem pro provedení analýzy pohybu kolejových vozidel. Rychloměr musí registrovat minimálně posledních 1000 metrů ujeté dráhy se záznamem[6]:

- dráhy a rychlosti,
- času,
- druhu použité brzdy,

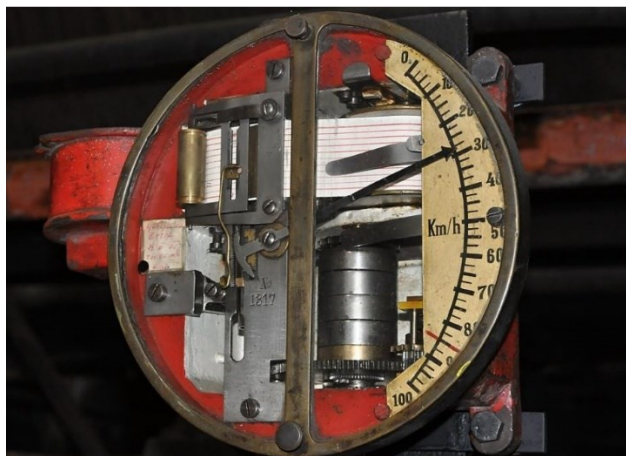
- režim zabezpečovacího zařízení,
- povolovacích a zakazujících kódů zabezpečovacího zařízení,
- směru pohybu drážního vozidla.

### 3.2 Historická řešení registrace pohybu kolejových vozidel

Už v minulosti existovalo pro možnost popisu pohybu vozidel zařízení, které vytvářelo záznam pohybu tohoto vozidla. První zařízení pro záznam pohybu kolejových vozidel se na území bývalé ČSR používalo už v první polovině 20. století.[7]

#### Registrační rychloměr Haushälter

Mezi nejstarší používané záznamové zařízení patří registrační rychloměr Haushälter vyráběný společností Seidel & Neumann Dresden, který byl využíván ještě na tehdejších lokomotivách s parním pohonem. Rychloměr zobrazuje rychlost vozidla v  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  a zaznamenává rychlost, čas i ujetou dráhu vozidla. Princip funkce rychloměru je založený na vpichování ocelových jehel do papírového proužku o šířce 50 mm, čímž vzniká nespojitý záznam jízdy vozidla.[7]



Obrázek 2: Registrační rychloměr Haushälter [8]

#### Registrační rychloměr ČSD – Tb

Druhou generaci záznamových zařízení používaných v ČSR představuje registrační rychloměr ČSD – Tb vycházející z koncepce rychloměru HASLER – 9. Tento rychloměr zobrazuje rychlost vozidla v  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  a čas v minutách i hodinách. Dále je schopen zaznamenávat rychlost vozidla, čas, ujetou dráhu a směr pohybu. Na rozdíl od předchozího zařízení je záznam vytvořený pomocí tohoto registračního rychloměru spojitý.[7]





Obrázek 3: Registrační rychloměr ČSD – Tb [9]

### Registrační rychloměr TEL – R10

Posledním představeným historickým registračním rychloměrem je rychloměr TEL – R10 vyráběný společností Hasler A. G. Bern. Toto zařízení je velice specifické, protože k záznamu pohybu vozidla využívá registraci do nezasychající barvy, která je nanesená na skleněném kotouči s kruhovou rychlostní stupnicí. Tento kotouč se při pohybu kolejového vozidla otáčí, čímž vzniká záznam. Rychloměr zobrazuje rychlost vozidla v  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  a ujetou dráhu. Mezi zaznamenávané veličiny patří rychlost vozidla, ujetá dráha a účinek tlakové brzdy. [7]



Obrázek 4: Registrační rychloměr TEL – R10 [10]

### 3.3 Současná řešení registrace pohybu kolejových vozidel

V této části jsou popsány nejpoužívanější registrační rychloměry, které se vyskytují na hnacích vozidlech používaných na území ČR. Registrační rychloměry lze rozdělit podle způsobu registrace veličin na mechanické a elektronické. Příklady obou typů registračních rychloměrů jsou uvedeny v následujících dvou podkapitolách.

#### 3.3.1 Mechanické registrační rychloměry

Modernější mechanické registrační rychloměry vytváří spojitý záznam na záznamový proužek pomocí hrotů a umožňují registraci základních veličin, ale i velké množství dalších doplňkových veličin. Princip mechanického záznamu spočívá v tom, že působením hrotů rychloměru dojde k narušení nebo změně barvy speciální vrstvy, kterou je opatřen papírový rychloměrný proužek.[7]

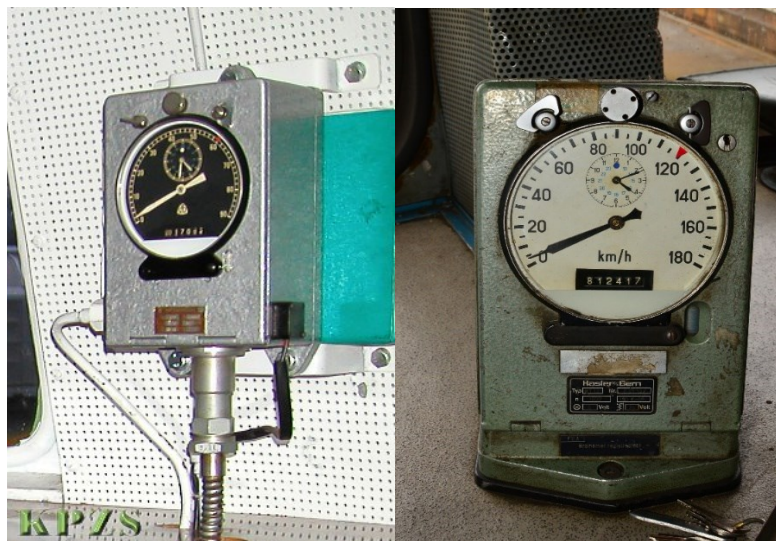
##### Mechanický rychloměr Metra Blansko [7]

Nejpoužívanějším mechanickým registračním rychloměrem je krabicový přístroj s odklopnou přední stranou dodávaný společností Metra Blansko. Tento typ rychloměru vychází z řady registračních rychloměrů TELOC RT od firmy Hasler A. G. Bern. Veličiny zobrazované a registrované tímto registračním rychloměrem jsou sepsány v Tabulce 1.

Zobrazuje:	Registruje:
rychlost vozidla v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	rychlost vozidla v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
čas v minutách a hodinách	čas v hodinách
ujetou dráhu v kilometrech	dobu jízdy a stání v minutách
	ujetou dráhu
	obsahu tlačítka bdělosti

Tabulka 1: *Zobrazované a registrované veličiny mechanickým registračním rychloměrem Metra Blansko (vlastní)*

V případě dalších požadavků ze strany provozovatele je možné registrovat navíc další spojitou veličinu. Na následujícím obrázku je zobrazen vlevo registrační rychloměr Metra Blansko a vpravo registrační rychloměr od firmy Hasler A. G. Bern.



Obrázek 5 a 6: Registrační rychloměr Metra Blansko (vlevo) a registrační rychloměr TELOC RT od firmy Hasler A. G. Bern (vpravo) [11][12]

### 3.3.2 Elektronické registrační rychloměry

Elektronické registrační rychloměry plně nahrazují všechny funkce mechanických registračních rychloměrů s papírovým záznamem. V porovnání s nimi nabízí výrazné zvýšení užitných vlastností a zároveň mají menší nároky na obsluhu a údržbu. Typickým představitelem je elektronický rychloměr řady RE1xx vyráběný společností UniControls. Druhým často využívaným zařízením je elektronický rychloměr řady LT od společnosti Metra Blansko. Oba uvedené typy rychloměrů jsou konstrukčně řešeny jako stavebnice několika komponent.

#### Elektronický rychloměr řady RE1xx [13]

Elektronický rychloměr typové řady RE1xx je určen pro kolejová vozidla, na kterých měří, zobrazuje a zaznamenává rychlost a ujetou dráhu. Registrace dalších veličin je možná konfigurací podle požadavků konkrétního provozovatele. Záznam se ukládá do polovodičové paměti typu FLASH, případně lze záznam ukládat na paměťovou kartu. Vnitřní paměť FLASH umožňuje ukládat statistické údaje (např. průměr kol, číslo vlaku, číslo strojvedoucího) a informace o ujeté dráze, rychlosti apod. Maximální kapacita paměti je 20670 kB, což odpovídá až 200000 km záznamu jízdy vozidla.

Získání dat pro vyhodnocování probíhá přenesením dat z vnitřní paměti FLASH na zařízení USB nebo paralelním kabelem do počítače. Dále lze využít vyhodnocovací software, který slouží k archivaci a vyhodnocování dat z registračního rychloměru.



Obrázek 7: Elektronický rychloměr se záznamem řady RE1xx [14]

#### Elektronický rychloměr řady LT Metra Blansko [15]

Elektronický rychloměr řady LT (případně LTN) od společnosti Metra Blansko je zařízení sloužící k záznamu, zpracovávání a předávání informací o provozu kolejového vozidla. Tato řada rychloměrů slouží především k záznamu rychlosti a ujeté dráhy. Způsob záznamu hodnot je realizován znovu do polovodičové paměti. Stahování a vyhodnocování dat z rychloměru probíhá obdobným způsobem jako u elektronického rychloměru řady RE1xx.

Po připojení všech konstrukčních celků (snímač otáček, měřící a záznamové jednotky, komunikační jednotky, propojovací skřínky, snímače tlaku a dalšího příslušenství) může tato rychloměrná soustava zobrazovat a zaznamenávat velmi velké množství dat. Zobrazované a vybrané registrované údaje pro základní konfiguraci jsou sepsány v Tabulce 2.



Obrázek 8: Elektronický rychloměr řady LT Metra Blansko [16]

Zobrazuje:	Registruje:
skutečnou rychlost vozidla	průměr dvojkolí vozidla
předvolenou rychlost vozidla	druh vlaku
maximální dovolenou rychlost vozidla	hmotnost vlaku
reálný čas	brzdící procenta
ujetou dráhu	ujetou dráhu
zadávané statistické údaje	skutečnou rychlost vozidla
zprávy systému strojvedoucímu	režim brzdění
základní diagnostické údaje	tlak v průběžném potrubí
	a jiné

Tabulka 2: *Zobrazované a registrované veličiny elektronickým registračním rychloměrem řady LT od firmy Metra Blansko (vlastní)*

### 3.4 Rozbor a vyhodnocení rychloměrného proužku

Vstupní data k provedení analýzy pohybu hnacího vozidla jsou získána z rychloměrného proužku, který odtrhne strojvedoucí po ukončení služby. Pověřený technický pracovník provádí rozbor záznamu nejméně u 1/8 odevzdaných rychloměrných proužků. V případech, kdy došlo k závadě nebo nehodě se rychloměrné proužky vždy podrobují detailnímu rozboru. Podle rozsahu analýzy rozlišujeme dva typy rozboru záznamu rychloměrných proužků[2]:

- rozbor záznamu pro běžnou potřebu,
- podrobná analýza záznamu rychloměrného proužku.

#### 3.4.1 Rozbor záznamu pro běžnou potřebu

Při vyhodnocování záznamu pro běžnou potřebu zjišťujeme a porovnáváme základní parametry jízdy vlaku. Mezi základní parametry jízdy vlaku patří například jízdní doba mezi zastaveními, okamžitá rychlost na trati, dodržení předepsané traťové rychlosti, pobyty vlaků, směr jízdy a další údaje.[2]

### 3.4.2 Podrobná analýza záznamu rychloměrného proužku

Cílem podrobné analýzy záznamu pohybu vlaku je popis jednotlivých fází jízdy vozidla nebo vlaku. Podrobný rozbor pohybu vlaku je požadován vždy při analýze železniční nehodové události. Součástí podrobné analýzy je stejně jako u rozboru pro běžnou potřebu vyhodnocení základních parametrů jízdy vlaku, navíc se ale zjišťují i další podrobné údaje. Mezi podrobné údaje patří například tažná síla hnacího vozidla v určitém okamžiku, zařazení jízdního stupně, hodnota zrychlení a zpomalení vlaku v určitém okamžiku, hodnota vozidlového odporu vlaku a okamžik počátku činnosti brzdy.[2]

## 4 Možnosti analýzy dynamiky pohybu hnacích kolejových vozidel a jimi vedených vlaků

V následující kapitole je popsán postup zpracování dat z rychloměrného proužku. Navržený postup vychází z tzv. rychlé analýzy záznamu pohybu drážních vozidel. Tato analýza zahrnuje metodiku určení souřadnic bodů na digitalizovaném obrazu záznamu jízdy vozidla a následné stanovení parametrů jednotlivých bodů záznamu. Dále jsou zde popsány způsoby výpočtu jednotlivých dynamických charakteristik popisujících pohyb kolejových vozidel.

### 4.1 Zpracování rychloměrného proužku a určení souřadnic bodů záznamu

U elektronických registračních rychloměrů jsou data pomocí speciálního softwaru od výrobce digitalizována a jsou ihned připravena k dalšímu zpracování. V současnosti je záznam jízdy u značného počtu hnacích vozidel realizován stále pomocí mechanických registračních rychloměrů. Údaje z papírového záznamu z mechanického registračního rychloměru je nutné před samotnou analýzou digitalizovat a dále připravit.

Přípravné postupy, které jsou obsaženy v rychlé analýze pohybu zvyšují přesnost stanovení poloh analyzovaných bodů oproti stanovení poloh přímo z nosiče záznamu pomocí mechanického měřidla. Výsledkem této metody je stanovení měřítek digitalizovaného obrazu záznamu a stanovení hodnot souřadnic jednotlivých bodů záznamu.[7]

Metoda má ovšem menší nedostatky, které jsou způsobeny převážně tím, že postup byl navržen pro tabulkový software Microsoft Excel. Nevýhodou tohoto softwaru je, že nepodporuje interaktivní úpravu polohy bodů v grafu. Pro analýzu využiji grafický software GIMP, který umožňuje velmi rychlé a přesné stanovení souřadnic zvolených bodů. Softwary využívají jiný souřadný systém, tudíž vztahy uvedené v této kapitole jsou upraveny pro souřadný systém, který využívá GIMP (počátek souřadnicového systému je v levém horním rohu obrazu). Metodika určení souřadnic bodů záznamů spočívá v následujících krocích[7][17]:

- a) Digitalizace záznamu.
- b) Rektifikace záznamu.
- c) Stanovení rozsahu a měřítek záznamu.
- d) Adjustace záznamu.

**ad a) Digitalizace záznamu**

Digitalizací papírového záznamu se rozumí vytvoření rastrového záznamu parametrů pohybu vozidla pomocí zařízení typu scanner. Důraz je kladen na zachycení všech podstatných částí záznamu. Kvalitu výsledného obrazu ovlivňuje převážně jeho rozlišení (požaduje se minimálně 300 DPI).

**ad b) Rektifikace záznamu**

Polohu jednotlivých bodů na záznamu lze popsat pomocí souřadnic. Souřadný systém získaného záznamu se ve většině případů nebude přesně shodovat se souřadným systémem grafického editoru. Aby souřadnice bodů, tedy i výsledky analýzy byly co nejpřesnější, je nutné obraz záznamu upravit. Tato úprava spočívá v krokovém vyrovnávání souřadného systému obrazu se souřadným systémem grafického editoru. Doporučuje se využít software na zpracování a úpravu obrázků s podporou otáčení obrázků o  $0,1^\circ$  (grafický editor GIMP podporuje otáčení obrázků o  $0,01^\circ$ ).

**ad c) Stanovení rozsahu a měřítek záznamu**

V tomto kroku dochází k určení rozpětí vodorovné a svislé pořadnice. Vodorovná pořadnice odpovídá posunu rychloměrného proužku, ze kterého lze určit ujetou dráhu. Svislé pořadnice představují rychlostní záznam pro určení rychlosti vozidla a minutový záznam, který slouží ke stanovení času. Rozsahy (mezní hodnoty) vodorovné osy posunu mají hodnoty:

$$x_{min} = 0 \quad [\text{mm}]$$

$$x_{max} = n_r \cdot \Delta x_r \quad [\text{mm}] \quad (4.01)$$

kde:

$n_r$  [1] počet mezer mezi obrazy vpichů na obraze záznamu

$\Delta x_r$  [mm] deklarovaná vzdálenost vpichů posunovacího válce rychloměru

Pro stanovení měřítka pořadnice ve směru osy x je nutné určit střední vzdálenost obrysových hran po sobě jdoucích vpichů. Střední vzdálenost lze vypočítat jako aritmetický průměr všech naměřených vzdáleností. Zvyšující se počet naměřených bodů zvyšuje přesnost výpočtu. Pro ukázkovou analýzu bude dostačující přesnost zajištěna 11 body, tj. 10 vzdálenostmi. Výpočet měřítka dráhového posunu je obdobný, vzdálenost vpichů je nahrazena deklarovanou dráhou mezi vpichy.



Měřítka pořadnice ve směru osy  $x$  je dáno vztahem:

$$m_{xp} = \frac{\Delta x_r}{x_{str}} \quad [\text{mm} \cdot \text{px}^{-1}] \quad (4.02)$$

kde:

$x_{str}$  [px] střední vzdálenost obrysových hran po sobě jdoucích vpichů

Měřítka dráhového posunu je dáno vztahem:

$$m_{sp} = \frac{\Delta s_{DP}}{x_{str}} \quad [\text{m} \cdot \text{px}^{-1}] \quad (4.03)$$

kde:

$\Delta s_{DP}$  [m] deklarovaná dráha mezi vpichy

U svislých os jsou jednotlivé rozsahy stanoveny s ohledem na rozměrové charakteristiky záznamového pole nosiče záznamu. Rozsahy pro svislou osu obrazu rychlosti jsou:

$$\begin{aligned} y_{Vmin} &= 0 & [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}] \\ y_{Vmax} &= V_{maxr} & [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}] \end{aligned} \quad (4.04)$$

kde:

$V_{maxr}$  [ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ] rozsah záznamu rychlost zjištěný z potisku nosiče záznamu

Rozsahy pro osu obrazu minutového záznamu jsou:

$$\begin{aligned} y_{Mmin} &= 0 & [\text{min}] \\ y_{Mmax} &= 10 & [\text{min}] \end{aligned} \quad (4.05)$$

Pro výpočet měřítek ve směru osy  $y$  je potřeba určit souřadnice mezních linek rychlostního i minutového záznamu. Díky rektifikaci jsou hodnoty horních nebo spodních hran souřadnic linek ve většině bodech totožné a je tedy možné jejich střední hodnotu určit z 10 naměřených bodů.

Měřítka pořadnice ve směru osy  $y$  je dáno vztahem:

$$m_{yp} = \frac{y_r}{Y_{Vmin} - Y_{Vmax}} \quad [\text{mm} \cdot \text{px}^{-1}] \quad (4.06)$$

kde:

$y_r$  [mm] deklarovaná šířka pole pro záznam rychlosti

$\overline{Y_{Vmin}}$  [px] střední hodnota souřadnice linky nulové rychlosti záznamu rychlosti

$\overline{Y_{Vmax}}$  [px] střední hodnota souřadnice linky maximální rychlosti záznamu rychlosti

Měřítka rychlostního záznamu je dáno vztahem:

$$m_{vp} = \frac{v_{max} r \cdot m_{yp}}{y_r} \quad [\text{km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{px}^{-1}] \quad (4.07)$$

Měřítka minutového záznamu je dáno vztahem:

$$m_{tmp} = \frac{\Delta t_m}{\overline{Y_{M10}} - \overline{Y_{M0}}} \quad [\text{min} \cdot \text{px}^{-1}] \quad (4.08)$$

kde:

$\Delta t_m$  [min] rozsah minutového záznamu

$\overline{Y_{M10}}$  [px] střední hodnota souřadnice linky 10. minuty záznamu času

$\overline{Y_{M0}}$  [px] střední hodnota souřadnice linky 0. minuty záznamu času

#### ad d) Adjustace záznamu

S předpřipravenými podklady záznamu pohybu je nutné před jejich dalším využitím uskutečnit poslední úpravu – adjustaci. Adjustací získáme obraz záznamu s nastaveným souřadným systémem pro analýzu záznamu pohybu. Při adjustaci záznamu se ověřuje:

- porovnání skutečného rozsahu rychloměru s rozsahem předtisku záznamu,
- stanovení vztažné polohy pro určení ujeté dráhy a poloh posuzovaných bodů,
- vzájemný posun záznamu rychlosti a záznamu času,
- posunutí polohy nulové rychlosti,
- posunutí mezi minutového záznamu.

## 4.2 Stanovení parametrů analyzovaného bodu záznamu

Po přípravě obrazu záznamu a nastavení souřadného systému lze přejít ke stanovení parametrů jednotlivých bodů záznamu. Parametry bodů se určují v následujících krocích[7]:

- a) Vytvoření dvojice bodů v doprovodné tabulce.
- b) Zobrazení dané dvojice bodů do grafu obrazu záznamu.
- c) Výpočet jednotlivých parametrů analyzovaného bodu.

**ad a) Vytvoření dvojice bodů v doprovodné tabulce**

Jako první se stanoví a tabelárně zpracují souřadnice analyzované dvojice bodů  $B_{Vi}$  a  $B_{Mi}$  v rychlostním i minutovém záznamu. Vodorovná souřadnice bodu v rychlostním záznamu  $X_{BVi}$  je dána vzdáleností k vztažnému bodu, nejčastěji je tímto bodem místo rozjezdu vozidla. Svislá souřadnice  $Y_{BVi}$  je odhadnuta z obrazu záznamu rychlosti. Hodnoty souřadnic bodu v minutovém záznamu jsou stanoveny obdobným způsobem, ale u vodorovné souřadnice minutového záznamu  $X_{BMi}$  je nutné počítat s posunutím mezi rychlostním a minutovým záznamem:

$$X_{BMi} = X_{BVi} + \Delta x_{VM} \quad [\text{px}] \quad (4.09)$$

kde:

$X_{BVi}$  [px] vodorovná souřadnice bodu  $B_{Vi}$  v rychlostním záznamu

$\Delta x_{VM}$  [px] posunutí rychlostního a minutového záznamu

**ad b) Zobrazení dané dvojice bodů do grafu obrazu záznamu**

V tomto kroku se pomocí grafického editoru GIMP umístí dvojice bodů na požadované místo obrazu záznamu jízdy vozidla.

**ad c) Výpočet jednotlivých parametrů analyzovaného bodu**

Samotný výpočet parametrů analyzované dvojice bodů  $B_{Vi}$  a  $B_{Mi}$  se provede převodem stanovených souřadnic na popisné charakteristiky. Ze souřadnic bodu popisující průběh rychlosti  $B_{Vi}$  se stanoví okamžitá rychlost  $V_i$  a kilometrická poloha bodu  $L_i$ . Ze souřadnic bodu minutového záznamu  $B_{Mi}$  se stanovuje čas rychloměru  $T_i$ . Tyto charakteristiky jsou dány následujícími vztahy.

**Okamžitá rychlost  $V_i$ :**

$$V_i = (Y_{V0} - Y_{BVi}) \cdot m_{Vp} \quad [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (4.10)$$

kde:

$Y_{V0}$  [px] svislá souřadnice linky nulové rychlosti na obrazu záznamu

$Y_{BVi}$  [px] svislá souřadnice bodu  $B_{Vi}$  v rychlostním záznamu

**Poloha posuzovaného bodu  $L_i$ :**

$$L_i = L_0 + (X_{BVi} - X_0 - \sum x_{TP}) \cdot \frac{m_{sp} \cdot k_{sj}}{1000} \quad [\text{km}] \quad (4.11)$$

kde:

$L_0$	[km]	skutečná kilometrická poloha vztažného bodu
$X_0$	[px]	hodnota vodorovné souřadnice vztažného bodu
$\sum x_{TP}$	[px]	součet hodnot posuvu záznamu vlivem časového posunutí záznamu při stání vozidla mezi body $X_0$ a $B_{Vi}$ .
$k_{sj}$	[1]	konstanta popisující směr jízdy vzhledem k počátku trati

**Čas rychloměru  $T_i$ :**

$$T_i = \begin{cases} T_R + (Y_{M10} - Y_{B_{Mi}}) \cdot m_{tmp} & ; \text{pro } X_{TR0} < X_{B_{Mi}} < X_{TR10} \\ T_R + (Y_{B_{Mi}} - Y_{M0}) \cdot m_{tmp} & ; \text{pro } X_{TR10} < X_{B_{Mi}} < X_{TR0} \end{cases} \quad [\text{min}] \quad (4.12)$$

kde:

$T_R$	[min]	čas rychloměru nejbližší nižší mezní hodnoty minutového záznamu
$X_{TR0}$	[px]	poloha nejbližší mezní hodnoty 0. minuty minutového záznamu
$X_{TR10}$	[px]	poloha nejbližší mezní hodnoty 10. minuty minutového záznamu
$Y_{B_{Mi}}$	[px]	svislá souřadnice bodu $B_{Mi}$ v časovém záznamu
$Y_{M10}$	[px]	svislá souřadnice linky 10. minuty záznamu času
$Y_{M0}$	[px]	svislá souřadnice linky 0. minuty záznamu času

**4.3 Analýza dynamických charakteristik pohybu kolejových vozidel**

Podle vyšetřované dynamické charakteristiky rozlišujeme základní tři typy analýzy pohybu:

- analýza rychlosti pohybu,
- analýza zrychlení pohybu,
- analýza teoretických brzdných drah.

### 4.3.1 Analýza rychlosti pohybu

Výstupem analýzy rychlosti pohybu je tachogram jízdy vozidla, který zobrazuje průběh rychlosti vozidla na nezávislém parametru. Podle tohoto parametru rozlišujeme dva typy tachogramu[1]:

- dráhový tachogram – nezávislým parametrem je ujetá dráha,
- časový tachogram (hodogram) – nezávislým parametrem je čas.

Analýza průběhu rychlosti vozidla představuje stanovení rychlosti ve vybraných bodech rychlostního záznamu, ke kterým se přiřadí odpovídající čas z minutového záznamu. Rychlost v bodech záznamu pohybu vozidla je dána vztahem (4.10) a čas je dopočítán podle vztahu (4.12). Ke grafické realizaci tachogramu lze využít jakýkoliv tabulkový software s možností vykreslení X-Y grafu.

### 4.3.2 Analýza zrychlení pohybu

Zrychlení je dynamická charakteristika pohybu, která udává změnu rychlosti vozidla ve směru jízdy podle času. Vztah pro výpočet zrychlení v diferenčním tvaru a po jeho následné úpravě:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = v \cdot \frac{\Delta v}{\Delta l} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4.13)$$

kde:

$\Delta v$      $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$     změna rychlosti v daném časovém intervalu

$\Delta t$      $[\text{s}]$     časový interval

$\Delta l$      $[\text{m}]$     ujetá dráha mezi počátečním a koncovým bodem výpočtu

#### Výpočet okamžitého zrychlení ve vybraném bodě záznamu

Okamžité zrychlení ve vybraném bodě záznamu je vypočteno z naměřených hodnot parametrů pohybu vozidla. Za předpokladu lineárního průběhu rychlosti mezi posuzovanými body je okamžité zrychlení závislé na numerickém řešení středové derivace průběhu rychlosti v blízkém okolí daného bodu. Uvedené vzorce pro výpočet okamžitého zrychlení vychází z Obrázku 9. Hodnota okamžitého zrychlení je dána vztahem[7]:

$$a(i) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_i \cdot \left( \frac{V_{i+1} - V_i}{L_{i+1} - L_i} + \frac{V_i - V_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4.14)$$

kde:

$V_i$  [km · h<sup>-1</sup>] rychlost vozidla v posuzovaném bodě záznamu

$V_{i+1}$  [km · h<sup>-1</sup>] rychlost vozidla v následujícím bodě záznamu

$V_{i-1}$  [km · h<sup>-1</sup>] rychlost vozidla v předcházejícím bodě záznamu

$L_{i+1}$  [km] poloha vozidla v následujícím bodě záznamu

$L_i$  [km] poloha vozidla v posuzovaném bodě záznamu

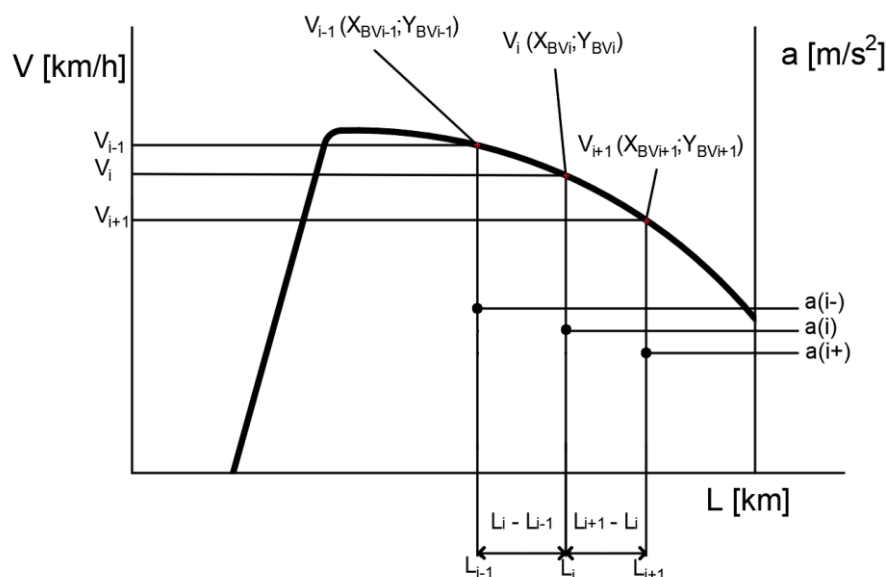
$L_{i-1}$  [km] poloha vozidla v předcházejícím bodě záznamu

V případech, kdy nelze stanovit parametry (rychlost a poloha) následujícího bodu, počítáme tzv. zrychlení k bodu zleva. Hodnota zrychlení v posuzovaném bodě je vypočtena na základě parametrů daného bodu a parametrů bodu přecházejícího[7]:

$$a(i-) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_i \cdot \left( \frac{V_i - V_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4.15)$$

V případech, kdy nelze stanovit parametry předcházejícího bodu, počítáme tzv. zrychlení k bodu zprava. Hodnota zrychlení v posuzovaném bodě je vypočtena na základě parametrů daného bodu a parametrů bodu následujícího[7]:

$$a(i+) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_i \cdot \left( \frac{V_{i+1} - V_i}{L_{i+1} - L_i} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4.16)$$



Obrázek 9: Výpočet okamžitého zrychlení z rychlostního záznamu [7]

### Výpočet středního zrychlení mezi dvěma body záznamu

Střední zrychlení mezi dvěma body záznamu se vypočítá z hodnot parametrů na rychlostním záznamu pohybu vozidla. Hodnota středního zrychlení se vypočte podle vztahu upraveného ze vztahu (4.14)[7]:

$$a_{stř} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{L_2 - L_1} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4.17)$$

kde:

$V_1$  [km · h<sup>-1</sup>] rychlost vozidla v počátečním bodu záznamu

$V_2$  [km · h<sup>-1</sup>] rychlost vozidla v koncovém bodu záznamu

$L_1$  [km] poloha vozidla v počátečním bodu záznamu

$L_2$  [km] poloha vozidla v koncovém bodu záznamu

### 4.3.3 Analýza teoretických brzdných drah

Tato analýza slouží k výpočtu teoretické brzdné dráhy nebo zábrzdné dráhy z bodu na rychlostním záznamu do bodu následujícího. V těchto bodech je pro pohyb vozidla definována rychlost vozidla a pro počáteční bod brzdění i kilometrická poloha na trati. V případě výpočtu zábrzdné dráhy je rychlost ve druhém bodě nulová. Teoretická brzdná dráha se stanoví podle vztahu:

$$l_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 - v_1^2}{a_B} \quad [\text{m}] \quad (4.18)$$

Tento vztah nezahrnuje dráhu ujetou během přípravy brzdy, což je dráha, kterou vozidlo ujede volnoběžnou jízdou. Vztah lze využít v případech, kdy ze vstupních údajů není známa hodnota celkové doby náběhu brzdy a reakční doba strojvedoucího. Pro běžné výpočty lze uvažovat reakční dobu strojvedoucího 1 sekundu. Je-li hodnota celkové ekvivalentní doby náběhu známá, lze stanovit dráhu ujetou po dobu volnoběžné jízdy a zahrnout ji do výpočtu teoretické brzdné dráhy. Pro zjednodušení výpočtu se předpokládá, že rychlost vozidla je během doby přípravy brzdy konstantní a odpovídá rychlosti v počátečním zkoumaném bodě. Teoretická brzdná dráha se započítáním volnoběžné jízdy se vypočítá podle vztahu (2.17).[7]

Kilometrická poloha vozidla na konci brzdění se stanoví podle vztahu:

$$L_2 = L_1 + l_B \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} \quad [\text{km}] \quad (4.19)$$

## 5 Praktická ukázka analýzy záznamu pohybu

### 5.1 Popis rychloměrného proužku

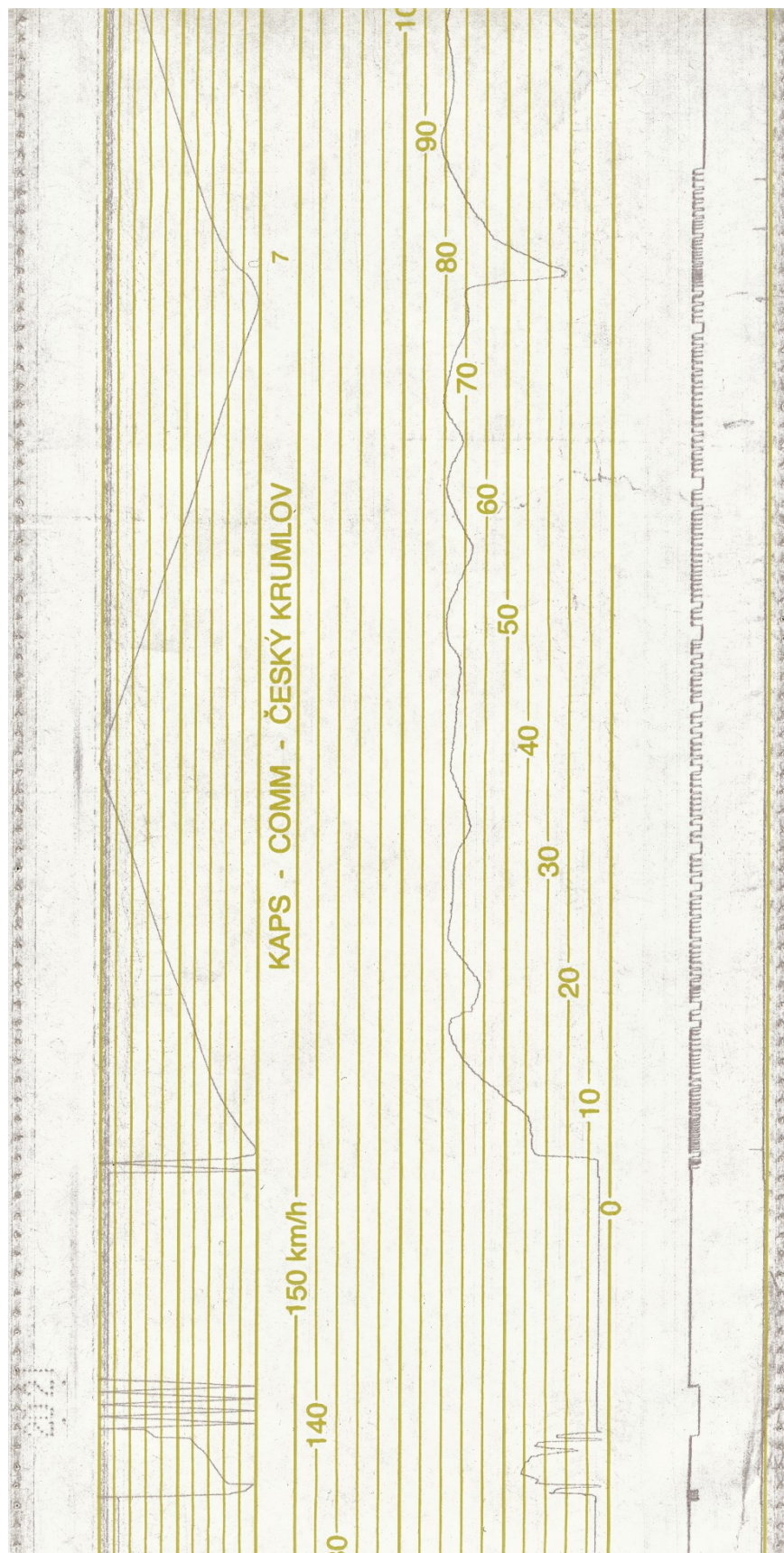
Ukázková analýza byla provedena z nosiče záznamu z mechanického rychloměru typu Metra Blansko. Rychloměrný proužek je rozdělen na několik částí. Krajiní pásy nahoře a dole jsou vpichy, které slouží k určení ujeté dráhy. Deklarovaná vzdálenost vpichů posunovacího válce rychloměru je podle ČD V8/II[18] u registračních rychloměrů Metra  $\Delta x_r = 2,5$  mm. Tato vzdálenost odpovídá dráze 500 metrů.

Minutový záznam tvoří horní linkovaná část, která slouží pro záznam času. Tento záznam je omezen shora linkou 0. minuty a zespoda linkou 10. minuty. Vzdálenost jednotlivých čar odpovídá 1 minutě záznamu jízdy vozidla, což znamená, že jeden pohyb pisátka směrem dolů nebo nahoru odpovídá 10 minutám záznamu. Rozsah záznamu je tedy  $\Delta t_m = 10$  min. Pokud je vozidlo zastaveno, pisátko zapisuje časový průběh kolmo k předtištěným linkám.

Spodní linkovaná část představuje rychlostní záznam, ve kterém je zaznamenán průběh rychlosti vozidla v závislosti na ujeté dráze. Rozsah záznamu rychlosti je  $y_{v_{\min}} = 0$  km·h<sup>-1</sup> až  $y_{v_{\max}} = 150$  km·h<sup>-1</sup>. Deklarovaná šířka pole pro záznam rychlosti je podle ČD V8/II[18] u registračních rychloměrů Metra  $y_r = 40$  mm.

Zadaný digitalizovaný záznam jízdy je zobrazen na Obrázku 10 na následující straně.





Obrázek 10: Zadaný záznam jízdy pro praktickou ukázkou analýzy pohybu (zadání)

## 5.2 Rektifikace obrazu záznamu pohybu a stanovení měřítek

Na zadaném digitalizovaném obrazu záznamu pohybu byla provedena rektifikace s otočením  $+0,08^\circ$ . Poté byly rozměry obrazu záznamu upraveny na velikost 4800x2500 px.

Pro stanovení měřítek ve směru osy x byla určena střední vzdálenost pravých obrysových hran po sobě jdoucích vpichů. Pro dostatečnou přesnost je výpočet uskutečněn z 11 naměřených bodů, tj. 10 vzdáleností. Naměřené hodnoty souřadnic obrysových hran vpichů  $X_{DPi}$  a vzdálenosti mezi nimi  $\Delta X_{DPi}$  jsou zobrazeny v Tabulce 3. Střední vzdálenost obrysových hran je rovna aritmetickému průměru vzdáleností jednotlivých bodů  $x_{str} = 58,8$  px.

i	$X_{DPi}$	$\Delta X_{DPi}$
	[px]	[px]
1	32	61
2	93	59
3	152	60
4	212	60
5	272	59
6	331	59
7	390	58
8	448	56
9	504	57
10	561	59
11	620	

Tabulka 3: Naměřené hodnoty souřadnic obrysových hran a vzdálenosti mezi nimi (vlastní)

Výpočet měřítka pořadnice ve směru osy x podle vzorce (4.02):

$$m_{xp} = \frac{\Delta x_r}{x_{str}} = \frac{2,5}{58,8} = 0,0425 \text{ [mm} \cdot \text{px}^{-1}\text{]}$$

Výpočet měřítka dráhového posunu podle vzorce (4.03):

$$m_{sp} = \frac{\Delta s_{DP}}{x_{str}} = \frac{500}{58,8} = 8,5034 \text{ [m} \cdot \text{px}^{-1}\text{]}$$

Měřítka ve směru osy y byla stanovena obdobným způsobem s tím, že se naměřily souřadnice horních hran mezních linek. Střední hodnoty souřadnic horních hran linek nulové rychlosti  $Y_{vmin}$  a maximální rychlosti  $Y_{vmax}$  jsou stanoveny z 10 naměřených hodnot. Střední hodnoty souřadnic horních hran linek 0. minuty  $Y_{M0}$  a 10. minuty  $Y_{M10}$  jsou určeny

ze stejného počtu bodů. Naměřené hodnoty svislých souřadnic pro zvolené vodorovné souřadnice X jsou sepsány v Tabulkách 4 a 5.

X	Y <sub>Vmax</sub>	Y <sub>Vmin</sub>
[px]	[px]	[px]
750	943	1895
1000	943	1895
1250	942	1895
1500	942	1894
1750	942	1895
2000	942	1894
2250	942	1894
2500	942	1893
2750	942	1893
3000	942	1893

X	Y <sub>M0</sub>	Y <sub>M10</sub>
[px]	[px]	[px]
750	347	824
1000	347	824
1250	347	823
1500	347	823
1750	346	823
2000	346	823
2250	346	822
2500	346	822
2750	346	822
3000	346	822

Tabulka 4 a 5: Naměřené hodnoty souřadnic horních hran mezních linek rychlostního záznamu (vlevo) a naměřené hodnoty souřadnic horních hran mezních linek minutového záznamu (vpravo) (vlastní)

Výpočet měřítka pořadnice ve směru osy y podle vzorce (4.06):

$$m_{yp} = \frac{y_r}{Y_{Vmin} - Y_{Vmax}} = \frac{40}{1894,1 - 942,2} = 0,0420 \text{ [mm} \cdot \text{px}^{-1}\text{]}$$

Výpočet měřítka rychlostního záznamu podle vzorce (4.07):

$$m_{vp} = \frac{V_{maxr} \cdot m_{yp}}{y_r} = \frac{150 \cdot 0,042}{40} = 0,1576 \text{ [km} \cdot \text{px}^{-1}\text{]}$$

Výpočet měřítka minutového záznamu podle vzorce (4.08):

$$m_{tmp} = \frac{\Delta t_m}{Y_{M10} - Y_{M0}} = \frac{10}{822,8 - 346,4} = 0,0210 \text{ [min} \cdot \text{px}^{-1}\text{]}$$

### 5.3 Adjustace obrazu záznamu

Během adjustace byly zkontrolovány parametry obrazu záznamu vyjmenované v kapitole 4.1 ad d).

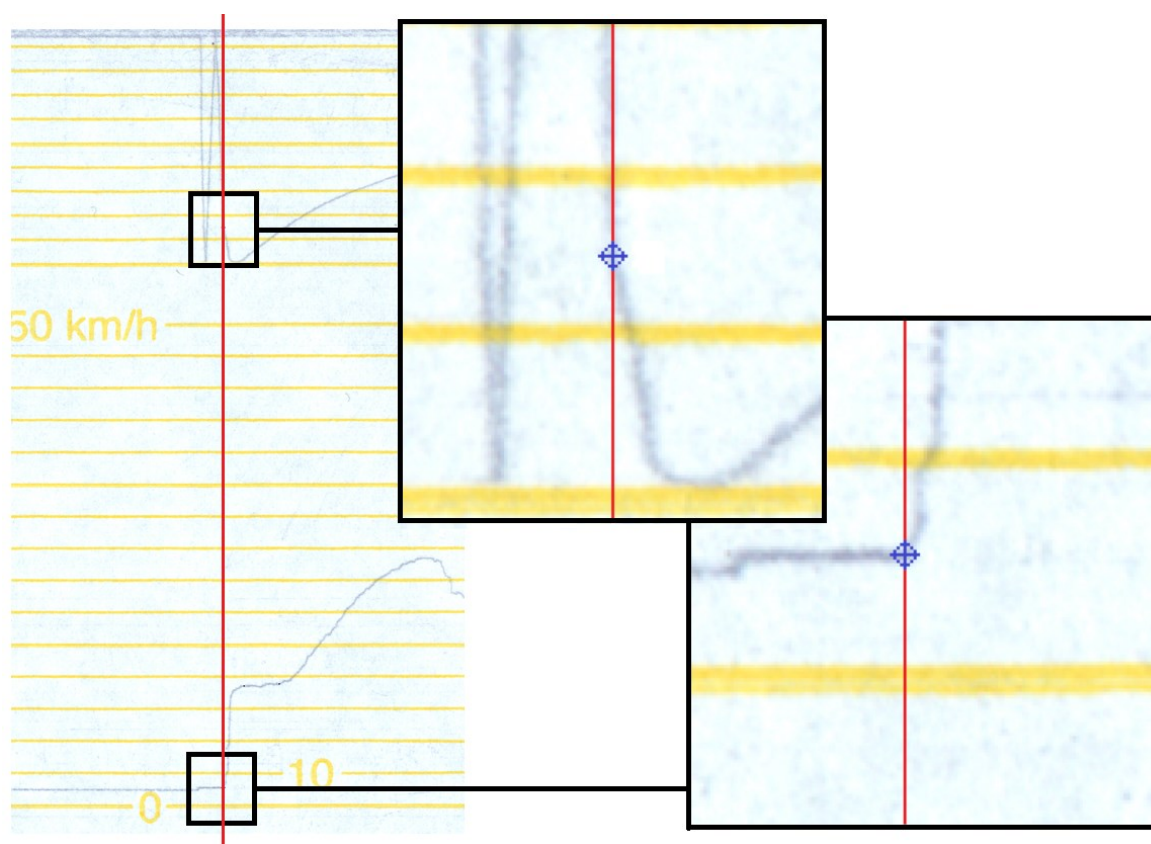
#### 5.3.1 Stanovení vztažné polohy pro určení ujeté dráhy a poloh posuzovaných bodů

Za vztažnou polohu pro určení ujeté dráhy a poloh posuzovaných bodů bylo zvoleno místo rozjezdu. Vodorovná souřadnice tohoto bodu je  $X_0 = 1259 \text{ px}$ .

### 5.3.2 Vzájemný posun záznamu rychlosti a minutového záznamu

V místě rozjezdu vozidla byla provedena kontrola vzájemného posunutí rychlostního a minutového záznamu. Místo rozjezdu v rychlostním záznamu se nachází na vodorovné souřadnici  $X_0$  a v minutovém záznamu je toto místo v bodě, kde se časový průběh láme. Posun mezi záznamy je dán rozdílem vodorovných souřadnic těchto bodů.

Vodorovné souřadnice obou bodů jsou totožné, z čehož vyplývá, že posun rychlostního a minutového záznamu je nulový. Způsob kontroly posunu je záznamů vyobrazen na Obrázku 11.



Obrázek 11: Posun mezi rychlostním a minutovým záznamem (vlastní)

### 5.3.3 Posunutí polohy nulové rychlosti

V levé části rychlostního záznamu lze pozorovat, že nulová rychlost není zobrazena na lince nulové rychlosti. Příčinou této nepřesnosti může být posun celého průběhu rychlosti přibližně o  $5\div 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  směrem nahoru. Další možnou příčinou je chyba rychloměru, při které pisátko nezaznamenává takto nízké rychlosti. Skutečná příčina byla zjištěna následujícím postupem.

K určení skutečné rychlosti ve vybraných bodech bylo nutné najít intervaly v rychlostním záznamu, ve kterých se vozidlo pohybovalo přibližně konstantní rychlostí. Střední rychlost v intervalu se porovná se skutečnou rychlostí, kterou lze stanovit z ujeté dráhy a času.

V krajních bodech intervalu byly naměřeny svislé souřadnice v rychlostním záznamu  $Y_{BVi}$  a minutovém záznamu  $Y_{BMi}$ . Z těchto hodnot lze v krajních bodech určit okamžitou rychlost, kilometrickou polohu a čas rychloměru. Svislá souřadnice linky nulové rychlosti na obrazu záznamu je  $Y_{V0} = 1899$  px.

### Příklad výpočtu pro interval A:

Okamžitá rychlost  $V_i$  v bodech  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$  podle vztahu (4.10):

$$V_1 = (Y_{V0} - Y_{BV1}) \cdot m_{vp} = (1899 - 1661) \cdot 0,1576 = 37,50 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}]$$

$$V_2 = (Y_{V0} - Y_{BV2}) \cdot m_{vp} = (1899 - 1657) \cdot 0,1576 = 38,13 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}]$$

Kilometrická poloha  $L_i$  v bodech  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$  podle vztahu (4.11):

$$L_1 = L_0 + (X_{BVi} - X_0 - \sum x_{TP}) \cdot \frac{m_{sp} \cdot k_{sj}}{1000} = 0 + (1300 - 1259 - 0) \cdot \frac{8,5034 \cdot 1}{1000}$$

$$L_1 = 0,35 \text{ [km]}$$

$$L_2 = L_0 + (X_{BVi} - X_0 - \sum x_{TP}) \cdot \frac{m_{sp} \cdot k_{sj}}{1000} = 0 + (1370 - 1259 - 0) \cdot \frac{8,5034 \cdot 1}{1000}$$

$$L_2 = 0,94 \text{ [km]}$$

Čas rychloměru  $T_i$  v bodech  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$  podle vztahu (4.12):

$$T_1 = T_R + (Y_{M10} - Y_{BMi}) \cdot m_{tmp} = 1,4 + (822,8 - 816) \cdot 0,021 = 1,543 \text{ [min]}$$

$$T_2 = T_R + (Y_{M10} - Y_{BMi}) \cdot m_{tmp} = 1,4 + (822,8 - 762) \cdot 0,021 = 2,677 \text{ [min]}$$

Ujetá dráha  $\Delta l$  mezi body  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$ :

$$\Delta l = |L_2 - L_1| \cdot 1000 = |0,94 - 0,35| \cdot 1000 = 595,24 \text{ [m]}$$

Doba jízdy  $\Delta t$  mezi body  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$ :

$$\Delta t = |T_2 - T_1| = |161 - 93| = 68 \text{ [s]}$$



Skutečná střední rychlost  $V_{skut}$  mezi body  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$ :

$$V_{skut} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \cdot 3,6 = \frac{595,24}{68} \cdot 3,6 = 31,51 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Naměřená střední rychlost  $V_{skut}$  mezi body  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$ :

$$V_{stř} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{37,50 + 38,13}{2} = 37,82 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Rozdíl naměřené a skutečné střední rychlosti  $\Delta V$  mezi body  $B_{V1}$  a  $B_{V2}$ :

$$\Delta V = V_{stř} - V_{skut} = 37,82 - 31,51 = 6,31 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Obdobný výpočet byl proveden pro všechny intervaly. Výsledky jsou zobrazeny v Tabulce 6. Posun rychlostního záznamu je dán střední hodnotou rozdílů rychlostí. Průběh rychlosti je posunutý přibližně o  $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  směrem nahoru, což odpovídá 38 px na záznamu.

Interval	Číslo bodu i	$X_{BVi}$ [px]	$Y_{BVi}$ [px]	$Y_{BMi}$ [px]	$V_i$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$T_i$ [hh:mm:ss]	$L_i$ [km]	$\Delta l$ [m]	$\Delta t$ [s]	$V_{skut}$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$V_{stř}$ [km·h <sup>-1</sup> ]	$\Delta V$ [km·h <sup>-1</sup> ]
A	1	1300	1661	816	37,50	00:01:33	0,35	595,24	68,00	31,51	37,82	6,31
	2	1370	1657	762	38,13	00:02:41	0,94					
B	3	2050	1417	489	75,95	00:08:24	6,73	722,79	37,00	70,33	75,87	5,55
	4	2135	1418	460	75,80	00:09:01	7,45					
C	5	2844	1399	473	78,79	00:14:03	13,48	629,25	31,00	73,07	79,18	6,11
	6	2918	1394	497	79,58	00:14:34	14,11					

Tabulka 6: Stanovení posunutí polohy nulové rychlosti (vlastní)

### 5.3.4 Posunutí mezi minutového záznamu

Na rychloměrném proužku lze pozorovat, že minutový záznam je zaznamenán od horní hrany linky 0. minuty k horní hraně linky 10. minuty. Pro přesné stanovení rozsahu lze využít body naměřené pro výpočet měřítka minutového záznamu. Rozsah záznamu času je  $y_{M0} = 346,4 \text{ px}$  až  $y_{M10} = 822,8 \text{ px}$ .

## 5.4 Analýza parametrů pohybu vozidla v bodech záznamu

Jízdu na zkoumaném úseku lze rozdělit na několik částí (rozjezd vozidla, jízda přibližně konstantní rychlostí, zpomalení vozidla). Provádět analýzu dynamických charakteristik pro jízdu bez větší změny rychlosti je bezvýsledné, podrobnější analýze byly tedy podrobeny části s rozjezdem a zpomalením vozidla.

K popisu průběhu rozjezdu vozidla jsem zvolil 20 význačných bodů. Z polohy těchto bodů bylo možné určit rychlost vozidla, kilometrickou polohu na trati a čas rychloměru.

**Příklad výpočtu pro bod AR<sub>10</sub>:**

Okamžitá rychlost  $V_{10}$  v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.10):

$$V_{10} = (Y_{V0} - Y_{BV1skut}) \cdot m_{vp} = (1899 - 1687) \cdot 0,1576 = 33,41 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Kilometrická poloha  $L_{10}$  v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.11):

$$L_{10} = L_0 + (X_{BVi} - X_0 - \sum x_{TP}) \cdot \frac{m_{sp} \cdot k_{sj}}{1000} = 0 + (1391 - 1259 - 0) \cdot \frac{8,5034 \cdot 1}{1000}$$

$$L_1 = 1,122 \text{ [km]}$$

Čas rychloměru  $T_{10}$  v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.12):

$$T_{10} = T_R + (Y_{M10} - Y_{Bmi}) \cdot m_{tmp} = 1,4 + (822,8 - 748) \cdot 0,021 = 2,97 \text{ [min]}$$

Okamžité zrychlení v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.14):

$$a(10) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_{10} \cdot \left( \frac{V_{11} - V_{10}}{L_{11} - L_{10}} + \frac{V_{10} - V_9}{L_{10} - L_9} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3}$$

$$a(10) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot 33,41 \cdot \left( \frac{36,24 - 33,41}{1,284 - 1,122} + \frac{33,41 - 32,15}{1,122 - 0,944} \right) \cdot \frac{1}{10^3}$$

$$a(10) = 0,03 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Okamžité zrychlení zleva v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.15):

$$a(10 -) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_{10} \cdot \left( \frac{V_{10} - V_9}{L_{10} - L_9} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3}$$

$$a(10 -) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot 33,41 \cdot \left( \frac{33,41 - 32,15}{1,122 - 0,944} \right) \cdot \frac{1}{10^3}$$

$$a(10 -) = 0,01 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Okamžité zrychlení zprava v bodě AR<sub>10</sub> podle vztahu (4.16):

$$a(10 +) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot V_{10} \cdot \left( \frac{V_{11} - V_{10}}{L_{11} - L_{10}} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3}$$

$$a(10 +) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot 33,41 \cdot \left( \frac{36,24 - 33,41}{1,284 - 1,122} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3}$$

$$a(10 +) = 0,02 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Střední zrychlení mezi body AR<sub>1</sub> a AR<sub>20</sub> podle vztahu (4.17):

$$a_{stř} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot \left( \frac{V_{20}^2 - V_1^2}{L_{20} - L_1} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3,6^2} \cdot \left( \frac{71,38^2 - 0^2}{3,486 - 0} \right) \cdot \frac{k_{sj}}{10^3}$$

$$a_{stř} = 0,06 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}\text{]}$$

Naměřené a vypočítané hodnoty pro všechny body popisující průběh rozjezdu vozidla jsou zobrazeny v Tabulce 7.

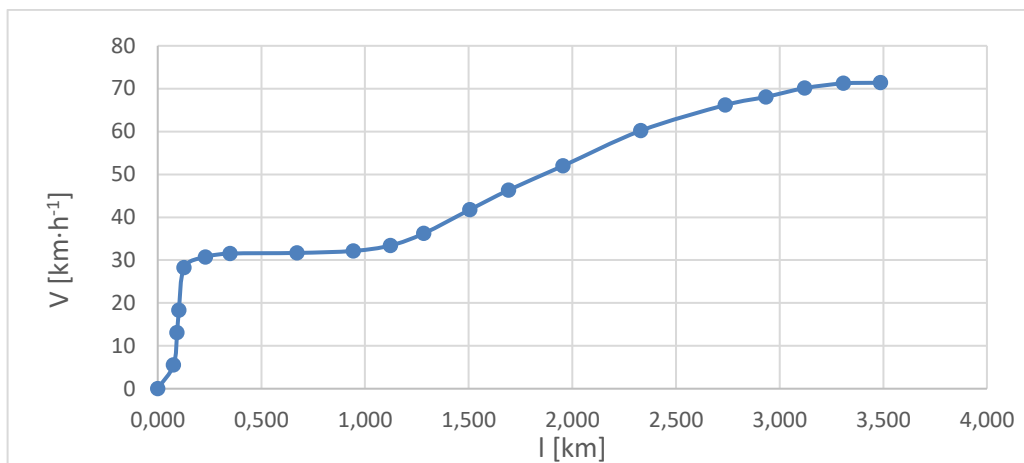
Bod	Rychlostní záznam			Minutový záznam			Poloha		Rychlost		Zrychlení			Čas	
	X <sub>BVi</sub>	Y <sub>BVi</sub>	Y <sub>BViskut</sub>	X <sub>BMi</sub>	Y <sub>BMi</sub>	T <sub>R</sub>	L <sub>i</sub>	Δl	V <sub>i</sub>	ΔV	a(i-)	a(i)	a(i+)	T <sub>i</sub>	Δt
	[px]	[px]	[px]	[px]	[px]	[hh:mm:ss]	[km]	[m]	[km·h <sup>-1</sup> ]	[km·h <sup>-1</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[hh:mm:ss]	[s]
AR1	1259	1861	1899	1259	756	0:01:24	0,000	-	0,00	-	-	-	0,02	0:00:00	-
AR2	1268	1826	1864	1268	794	0:01:24	0,077	77	5,52	5,52	0,02	0,11	0,22	0:00:48	48,00
AR3	1270	1778	1816	1270	811	0:01:24	0,094	77	13,08	7,56	0,22	0,53	0,43	0:01:09	21,00
AR4	1271	1745	1783	1271	816	0:01:24	0,102	9	18,28	5,20	0,43	0,71	0,42	0:01:15	6,00
AR5	1274	1682	1720	1274	820	0:01:24	0,128	26	28,21	9,93	0,42	0,45	0,03	0:01:20	5,00
AR6	1286	1666	1704	1286	822	0:01:24	0,230	102	30,73	2,52	0,03	0,04	0,01	0:01:25	5,00
AR7	1300	1661	1699	1300	816	0:01:24	0,349	119	31,52	0,79	0,01	0,01	0,00	0:01:33	8,00
AR8	1338	1660	1698	1338	786	0:01:24	0,672	323	31,67	0,16	0,00	0,00	0,00	0:02:10	37,00
AR9	1370	1657	1695	1370	762	0:01:24	0,944	272	32,15	0,47	0,00	0,01	0,01	0:02:41	31,00
AR10	1391	1649	1687	1391	748	0:01:24	1,122	179	33,41	1,26	0,01	0,03	0,02	0:02:58	17,00
AR11	1410	1631	1669	1410	736	0:01:24	1,284	162	36,24	2,84	0,02	0,06	0,04	0:03:13	15,00
AR12	1436	1596	1634	1436	720	0:01:24	1,505	221	41,76	5,52	0,04	0,08	0,04	0:03:33	20,00
AR13	1458	1567	1605	1458	708	0:01:24	1,692	187	46,33	4,57	0,04	0,08	0,04	0:03:49	16,00
AR14	1489	1531	1569	1489	694	0:01:24	1,956	264	52,00	5,67	0,04	0,09	0,05	0:04:06	17,00
AR15	1533	1479	1517	1533	676	0:01:24	2,330	374	60,20	8,19	0,05	0,08	0,04	0:04:29	23,00
AR16	1581	1441	1479	1581	659	0:01:24	2,738	408	66,18	5,99	0,04	0,06	0,03	0:04:50	21,00
AR17	1604	1429	1467	1604	651	0:01:24	2,934	196	68,07	1,89	0,03	0,05	0,03	0:05:00	10,00
AR18	1626	1416	1454	1626	643	0:01:24	3,121	187	70,12	2,05	0,03	0,05	0,02	0:05:10	10,00
AR19	1648	1409	1447	1648	636	0:01:24	3,308	187	71,23	1,10	0,02	0,02	0,00	0:05:19	9,00
AR20	1669	1408	1446	1669	628	0:01:24	3,486	179	71,38	0,16	0,00	-	-	0:05:29	10,00

Tabulka 7: Naměřené a vypočítané hodnoty bodů popisujících rozjezd vozidla (vlastní)

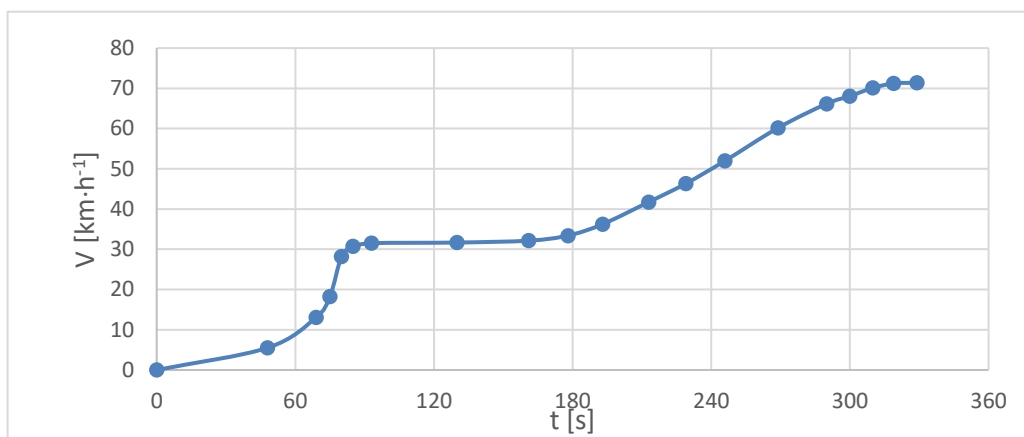
Rozjezd vozidla z nulové rychlosti na rychlost 71,38 km·h<sup>-1</sup> byl realizován na dráze 3486 metrů. Doba rozjezdu je přibližně 5,5 minuty. Na dráhovém tachogramu lze pozorovat, že rozjezd je možné rozdělit na tři části. První charakterizuje prudký nárůst rychlosti v závislosti na ujeté dráze. Druhá část se nachází v úseku přibližně mezi 200 a 1000 metrem, kde zrychlení je nulové a vozidlo se pohybovalo přibližně konstantní rychlostí. Ve třetí části vozidlo opět zvyšovalo rychlost, ale už s menším zrychlením.

V případě plynulého rozjezdu by celková dráha a čas rozjezdu byly menší o dráhu a čas jízdy konstantní rychlostí. Dráhový tachogram je zobrazen na Grafu 1. Křivka by měla téměř přesně kopírovat křivku z obrazu záznamu, což je splněno. Časový tachogram je zobrazen na Grafu 2 a průběh zrychlení v závislosti na čase na Grafu 3.

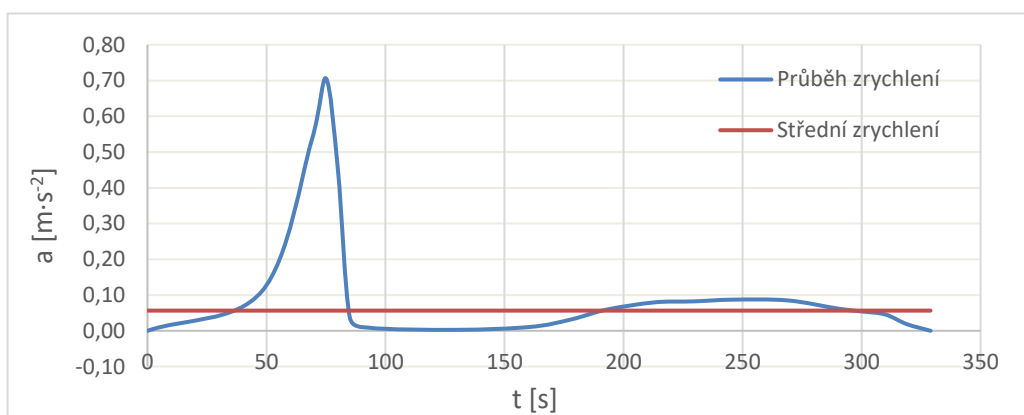




Graf 1: Dráhový tachogram rozjezdu vozidla (vlastní)



Graf 2: Časový tachogram rozjezdu vozidla (vlastní)



Graf 3: Průběh zrychlení v závislosti na čase při rozjezdu vozidla (vlastní)

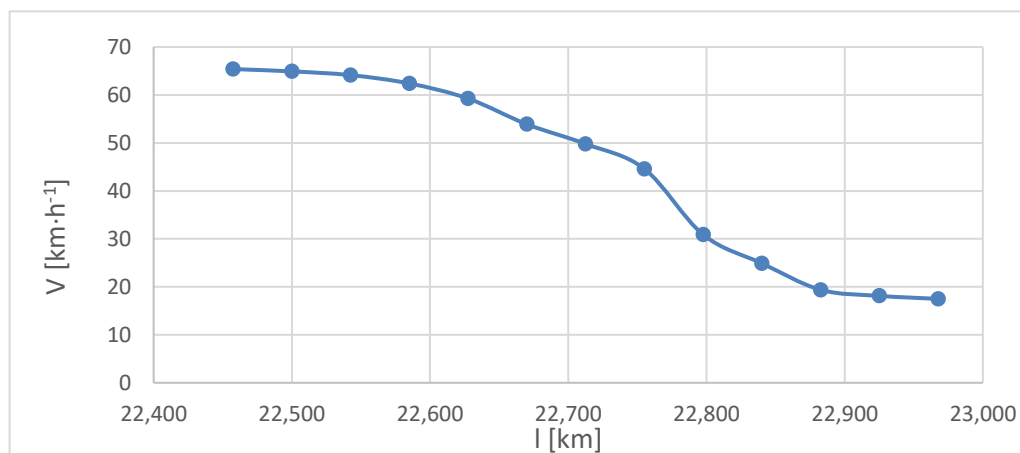
Na časovém tachogramu lze mezi rychlostmi  $0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a  $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  pozorovat, že nárůst rychlosti v závislosti na čase není tak prudký jako v závislosti na dráze. Tento jev je způsoben právě velmi nízkou rychlostí vozidla, při které je ujetá dráha velmi malá.

K popisu průběhu zpomalování vozidla jsem zvolil 13 význačných bodů vzdálených od sebe o konstantní vzdálenost 5 px, což odpovídá ujeté dráze přibližně 42,5 metrů. Postup výpočtu parametrů v jednotlivých bodech bude totožný s předchozím výpočtem parametrů bodů popisujících rozjezd vozidla. Naměřené a vypočítané hodnoty pro všechny body popisující průběh zpomalování vozidla jsou zobrazeny v Tabulce 8.

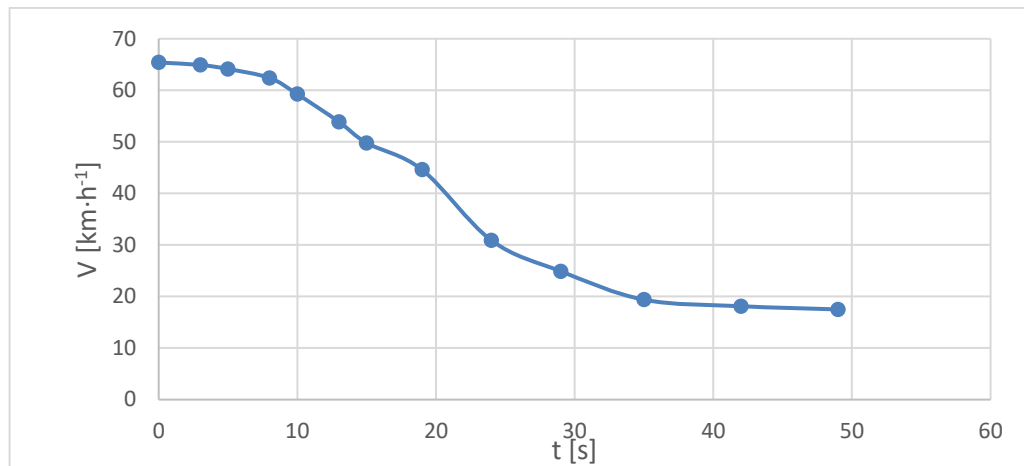
Bod	Rychlostní záznam			Minutový záznam			Poloha		Rychlost		Zrychlení			Čas	
	X <sub>Bvi</sub>	Y <sub>Bvi</sub>	Y <sub>Bviskut</sub>	X <sub>Bmi</sub>	Y <sub>Bmi</sub>	T <sub>R</sub>	L <sub>i</sub>	Δl	V <sub>i</sub>	ΔV	a(i-)	a(i)	a(i+)	T <sub>i</sub>	Δt
	[px]	[px]	[px]	[px]	[px]	[hh:mm:ss]	[km]	[m]	[km·h <sup>-1</sup> ]	[km·h <sup>-1</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[m·s <sup>-2</sup> ]	[hh:mm:ss]	[s]
AZ1	3900	1446	1484	3900	810	0:21:24	22,457	-	65,40	-	-	-	-0,03	0:21:40	-
AZ2	3905	1449	1487	3905	808	0:21:24	22,500	42,5	64,92	-0,47	-0,03	-0,07	-0,05	0:21:43	3,00
AZ3	3910	1454	1492	3910	806	0:21:24	22,543	42,5	64,13	-0,79	-0,05	-0,15	-0,10	0:21:45	2,00
AZ4	3915	1465	1503	3915	804	0:21:24	22,585	42,5	62,40	-1,73	-0,10	-0,28	-0,17	0:21:48	3,00
AZ5	3920	1485	1523	3920	802	0:21:24	22,628	42,5	59,25	-3,15	-0,17	-0,46	-0,26	0:21:50	2,00
AZ6	3925	1519	1557	3925	800	0:21:24	22,670	42,5	53,89	-5,36	-0,26	-0,46	-0,19	0:21:53	3,00
AZ7	3930	1545	1583	3930	798	0:21:24	22,713	42,5	49,80	-4,10	-0,19	-0,42	-0,21	0:21:55	2,00
AZ8	3935	1578	1616	3935	795	0:21:24	22,755	42,5	44,60	-5,20	-0,21	-0,77	-0,38	0:21:59	4,00
AZ9	3940	1665	1703	3940	791	0:21:24	22,798	42,5	30,89	-13,71	-0,38	-0,55	-0,14	0:22:04	5,00
AZ10	3945	1703	1741	3945	787	0:21:24	22,840	42,5	24,90	-5,99	-0,14	-0,26	-0,10	0:22:09	5,00
AZ11	3950	1738	1776	3950	782	0:21:24	22,883	42,5	19,38	-5,52	-0,10	-0,12	-0,02	0:22:15	6,00
AZ12	3955	1746	1784	3955	777	0:21:24	22,925	42,5	18,12	-1,26	-0,02	-0,03	-0,01	0:22:22	7,00
AZ13	3960	1750	1788	3960	771	0:21:24	22,968	42,5	17,49	-0,63	-0,01	-	-	0:22:29	7,00

Tabulka 8: Naměřené a vypočítané hodnoty bodů popisujících zpomalování vozidla (vlastní)

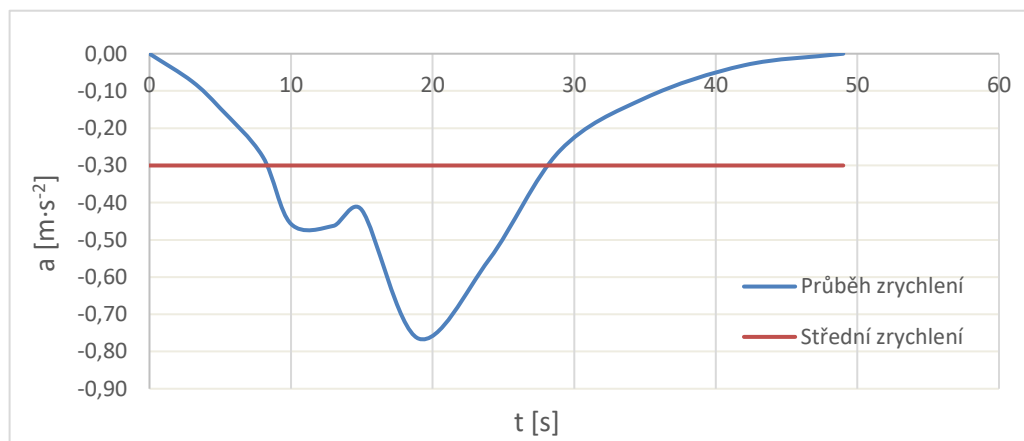
Z dráhového tachogramu, který je vyobrazen na Grafu 4 lze vyčíst, že zpomalování vozidla z rychlosti 65,40 km·h<sup>-1</sup> na rychlost 17,49 km·h<sup>-1</sup> bylo realizováno na brzdě dráze 511 metrů. Vypočítaná brzděná doba je 49 sekund a průběh rychlosti v závislosti na čase je zobrazen v časovém tachogramu, který je na Grafu 5. Průběh zrychlení v závislosti na čase je zobrazen na Grafu 6. V tomto případě má výpočet hodnoty středního zrychlení větší význam, protože tato hodnota není ovlivněná nulovým zrychlením při jízdě konstantní rychlostí, jako je tomu u předchozího rozjezdu.



Graf 4: Dráhový tachogram zpomalování vozidla (vlastní)



Graf 5: Časový tachogram zpomalování vozidla (vlastní)



Graf 6: Průběh zrychlení v závislosti na čase při zpomalování vozidla (vlastní)

Pro potřeby podrobné analýzy by bylo možné tuto analýzu pohybu dále doplnit výpočtem tažné síly na obvodu kol a výpočtem jednotlivých složek odporů. K tomuto výpočtu slouží základní rovnice pohybu kolejových vozidel (2.14). Pro stanovení tažné síly je nutné znát parametry traťového úseku (sklon tratě) a parametry vozidla (hmotnost, koeficienty vozidlového odporu). Dále je nutné znát zrychlení vozidla na daném úseku, jehož výpočet byl součástí analýzy. Po dosazení hodnot do základní rovnice pohybu kolejových vozidel mohou nastat tři případy:

- $F_0 > 0$  – vozidlo se pohybuje pomocí tažné síly o velikosti  $F_0$ ,
- $F_0 = 0$  – vozidlo se pohybuje výběhem,
- $F_0 < 0$  – vozidlo brzdí silou o velikosti  $F_0$ .

## 6 Provozně technické zhodnocení

V praktické části této bakalářské práce byla provedena ukázková analýza pohybu kolejového vozidla. Vstupní údaje pro tuto analýzu byly získány ze záznamu jízdy na rychloměrném proužku z mechanického rychloměru typu Metra Blansko. Analýza pohybu byla provedena na základě metodiky tzv. rychlé analýzy záznamu pohybu drážních vozidel. Pro získání souřadnic bodů na obrazu záznamu byl použit grafický software GIMP, pro který jsem musel navrhnout úpravu použitých vztahů tak, aby odpovídaly souřadnému systému tohoto softwaru.

Na zadaném digitalizovaném obrazu záznamu byla provedena rektifikace, která je popsána v části (5.2). Z výpočtu měřítek lze stanovit přesnost určení hodnot ze záznamu. Při rozlišení odečtu  $\pm 1$  px je přesnost určení ujeté dráhy  $\pm 8,5034$  m, přesnost určení rychlosti  $\pm 0,1576$  km·h<sup>-1</sup> a přesnost určení času  $\pm 0,0210$  min. Výpočet korekce průměru dvojkolí nebyl proveden.

Během adjustace byla určena poloha vztažného bodu  $X_0$ . Dále byla provedena zkouška na vzájemné posunutí rychlostního a minutového záznamu. Výsledek této zkoušky byl negativní – posunutí se nepotvrdilo. Už na první pohled na zadaný rychloměrný proužek je zřejmé, že nejvýznamnějším krokem adjustace bylo stanovení polohy nulové rychlosti. Zjištěn byl poměrně velký posun celého průběhu jízdy v rychlostním záznamu (38 px).

V poslední části analýzy byl proveden detailní rozbor průběhu rozjezdu a zpomalování vozidla. Oba případy jsou graficky popsány pomocí dráhového tachogramu, časového tachogramu a průběhu zrychlení v závislosti na čase.

V porovnání s elektronickými rychloměry je velkou nevýhodou mechanických registračních rychloměrů menší přesnost záznamu jízdy. Budoucnost registrace záznamu jízdy kolejových vozidel patří zcela jistě elektronickým registračním rychloměrům, jejichž hlavní výhodou je velmi přesné zaznamenávání údajů a snadné stažení dat do počítače. Tímto se zkracuje čas potřebný k realizaci analýzy pohybu, protože odpadají veškeré postupy pro zpřesnění analýzy, jako je tomu u rychloměrů mechanických. Mezi další výhody elektronických registračních rychloměrů patří možnost zaznamenávat větší množství údajů a ukládání dat přímo do jejich paměti.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat možnosti popisu pohybu hnacího kolejového vozidla na základě záznamu z jeho registračního rychloměru. Z výsledků analýzy lze zpětně popsat průběh jízdy vozidla, zjistit příčiny vzniku nehodové události, případně navrhnout další opatření pro zvýšení úrovně bezpečnosti jízdy kolejových vozidel.

První část této bakalářské práce je věnována problematice teorie pohybu kolejových vozidel. Jsou zde vymezeny základní pojmy, vztahy a zákonitosti, které jsou pro orientaci v problematice teorie pohybu kolejových vozidel potřebné.

Druhá část je věnována zařízením, která slouží k získání vstupních údajů pro analýzu pohybu kolejového vozidla. Vstupním údajem je záznam z registračního rychloměru hnacího vozidla. V úvodu této části jsou vymezeny legislativní požadavky na registraci pohybu hnacích kolejových vozidel. Dále je zde představeno a popsáno několik příkladů mechanických i elektronických registračních rychloměrů. Podrobněji jsou potom popsány provedení současných registračních rychloměrů, z jejichž záznamu je provedena ukázková analýza pohybu v praktické části této bakalářské práce.

Třetí část je věnována jednotlivým možnostem analýzy dynamiky pohybu hnacích vozidel a jimi vedených vlaků. Uveden je postup pro zpřesnění analýzy záznamu z mechanického registračního rychloměru. Dále jsou zde popsány základní metody analýzy jako analýza rychlosti pohybu, analýza zrychlení pohybu a analýza teoretických brzdných drah. Práce je doplněna ukázkovou analýzou pohybu hnacího vozidla a závěry z ní vyplívající jsou shrnuty v provozně technickém zhodnocení.

## Seznam použité literatury

- [1] ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě I: kolejová vozidla*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0536-7
- [2] ANTONICKÝ, Stanislav. *Mechanika vlakové dopravy*. Bratislava: Alfa, 1984.
- [3] ČÁP, Jaroslav, Ladislav FREIBAUER a Vladimír HLAVŇA. *Teorie vozidel*. Vyd. 2. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1991. ISBN 80-7100-047-7.
- [4] ŠIROKÝ, Jaromír, Jaroslav MÜLLER a Stanislav ZAPLETAL. *Stavba železničních kolejových vozidel*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013. Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m10\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m10_text)
- [5] *Předpis ČD V15/I: Předpis pro provoz a obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel*. Praha: České dráhy, 1997.
- [6] Vyhláška Ministerstva dopravy 173/1995 Sb. ze dne 22. června 1995, kterou vydává dopravní řád drah ve znění vyhlášky č. 242/1996 Sb., vyhlášky č. 174/2000 Sb. a vyhlášky č. 133/2003 Sb.
- [7] ŠIROKÝ, Jaromír. *Analýza dynamiky pohybu drážních vozidel*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010.
- [8] STEJSKAL, Pavel. Registrační rychloměr Haushälter. In: Vlaky.net [online]. 2015 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/galerie/6200/zeleznicni-muzeum-sudbahn-v-murzzuschlagu/?p=1>
- [9] Registrační rychloměr ČSD – Tb. In: Spolek FOD [online]. 2009 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://www.hermanicka.wz.cz/html/muzeum/expo-rychlomery.html>
- [10] Registrační rychloměr TEL – R10. In: SNOTPG [online]. [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <https://www.snotpg.ch/site/vehicules-2/supplements-vhcs/tachygraphe/>
- [11] MUZIKÁŘ, Pavel. Registrační rychloměr METRA. In: KPZS [online]. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: [http://kpzs.logout.cz/t334/popis/popis334\\_soubory/reg\\_rychlomer.html](http://kpzs.logout.cz/t334/popis/popis334_soubory/reg_rychlomer.html)
- [12] Registrační rychloměr od firmy Hasler A.G. Bern. In: Flickr.com [online]. 2013 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/115328668@N03/12143227875>

- [13] Elektronický rychloměr řady RE1xx. In: Unicontrols-tramex.cz [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.unicontrols-tramex.cz/cz/produkty/Elektronicky-rychlomer-RE1xx-8/>
- [14] Elektronický rychloměr se záznamem řady RE1xx. In: Unicontrols.cz [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [http://www.unicontrols.cz/index.php/cs/produkty-a-reseni/doprava/dopravni-technika?option=com\\_searchforsobi10&lang=cs&Itemid=%40\\*&phrase=rychlom%C4%9Br#!re1xx-cz](http://www.unicontrols.cz/index.php/cs/produkty-a-reseni/doprava/dopravni-technika?option=com_searchforsobi10&lang=cs&Itemid=%40*&phrase=rychlom%C4%9Br#!re1xx-cz)
- [15] Elektronický tachograf pro železniční dopravu, Metra Blansko, 2005.
- [16] Elektronický rychloměr řady LT Metra Blansko. In: Metrablansko.cz [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://metrablansko.cz/cs/elektronicky-rychlomer-lt/tachografy-a-servis-tachografu.html>
- [17] ŠIROKÝ, Jaromír, Jan FAMFULÍK a Jana MÍKOVÁ. *Metodika analýzy jízdy kolejových vozidel I. Analýza záznamu jízdy* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: [http://www.id.vsb.cz/wp-content/uploads/2018/01/Metodika\\_1\\_certifikovana\\_publ.pdf](http://www.id.vsb.cz/wp-content/uploads/2018/01/Metodika_1_certifikovana_publ.pdf)
- [18] *Předpis ČD V8/II: Předpis pro údržbu rychloměrů a vyhodnocení jejich záznamů*. Praha: České dráhy, 2000.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Síly působící na vozidlo při pohybu na sklonu [4]

Obrázek 2: Registrační rychloměr Haushälter [8]

Obrázek 3: Registrační rychloměr ČSD – Tb [9]

Obrázek 4: Registrační rychloměr TEL – R10 [10]

Obrázek 5: Registrační rychloměr Metra Blansko [11]

Obrázek 6: Registrační rychloměr TELOC RT od firmy Hasler A. G. Bern [12]

Obrázek 7: Elektronický rychloměr se záznamem řady RE1xx [14]

Obrázek 8: Elektronický rychloměr řady LT Metra Blansko [16]

Obrázek 9: Výpočet okamžitého zrychlení z rychlostního záznamu [7]

Obrázek 10: Zadaný záznam jízdy pro praktickou ukázkou analýzy pohybu (zadání)

Obrázek 11: Posun mezi rychlostním a minutovým záznamem (vlastní)



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Zobrazované a registrované veličiny mechanickým registračním rychloměrem Metra Blansko (vlastní)

Tabulka 2: Zobrazované a registrované veličiny elektronickým registračním rychloměrem řady LT od firmy Metra Blansko (vlastní)

Tabulka 3: Naměřené hodnoty souřadnic obrysových hran a vzdálenosti mezi nimi (vlastní)

Tabulka 4: Naměřené hodnoty souřadnic horních hran mezních linek rychlostního záznamu (vlastní)

Tabulka 5: Naměřené hodnoty souřadnic horních hran mezních linek minutového záznamu (vlastní)

Tabulka 6: Stanovení posunutí polohy nulové rychlosti (vlastní)

Tabulka 7: Naměřené a vypočítané hodnoty bodů popisujících rozjezd vozidla (vlastní)

Tabulka 8: Naměřené a vypočítané hodnoty bodů popisujících zpomalování vozidla (vlastní)

## **Seznam grafů**

Graf 1: Dráhový tachogram rozjezdu vozidla (vlastní)

Graf 2: Časový tachogram rozjezdu vozidla (vlastní)

Graf 3: Průběh zrychlení v závislosti na čase při rozjezdu vozidla (vlastní)

Graf 4: Dráhový tachogram zpomalování vozidla (vlastní)

Graf 5: Časový tachogram zpomalování vozidla (vlastní)

Graf 6: Průběh zrychlení v závislosti na čase při zpomalování vozidla (vlastní)